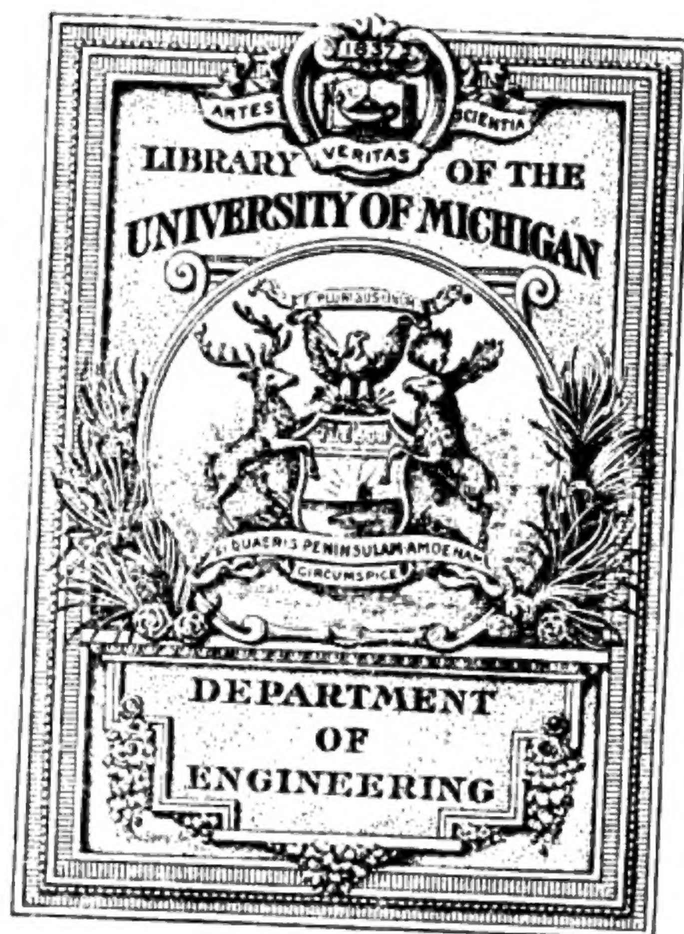
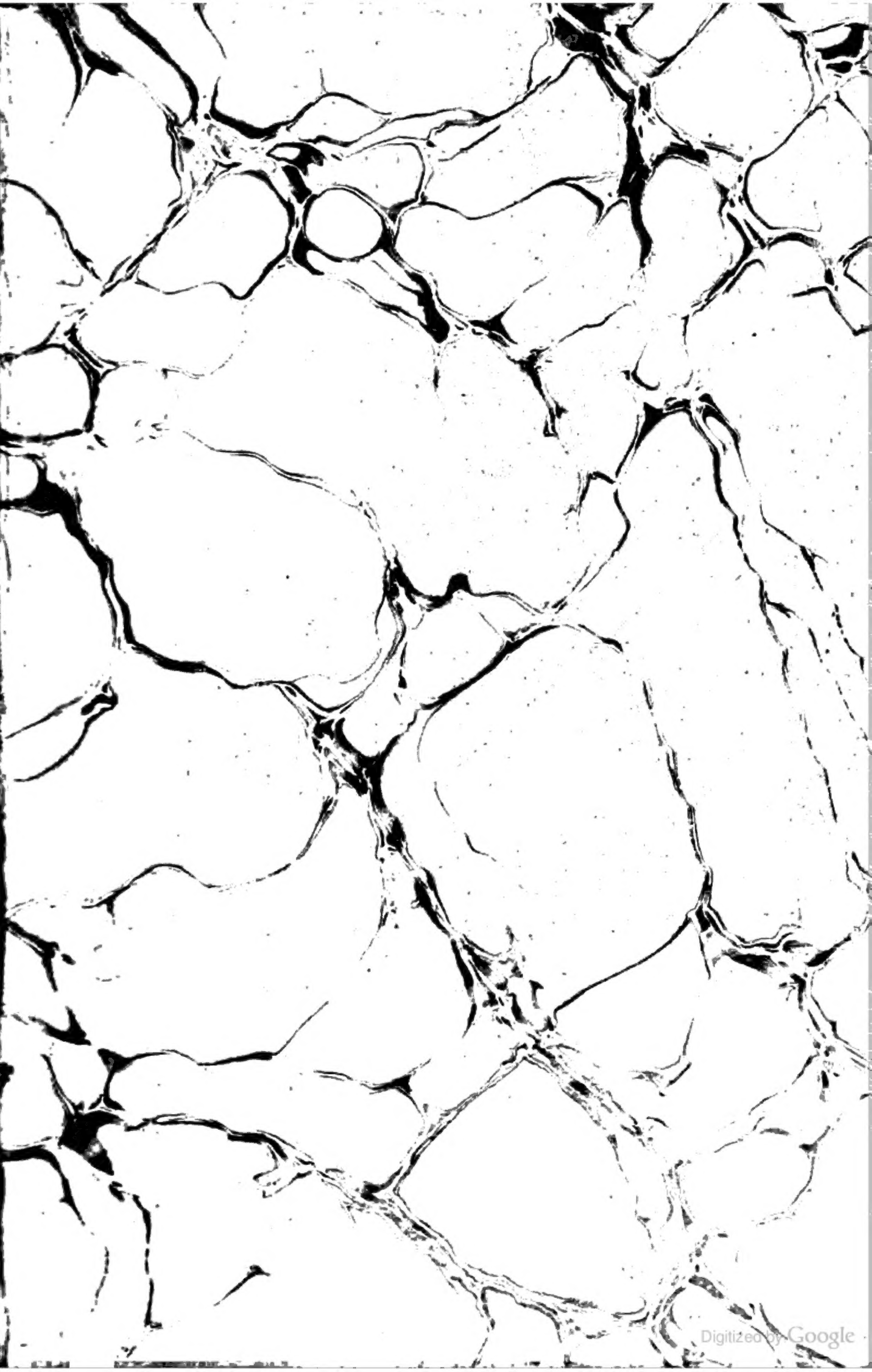
B 426842 DUPL

Digitized by Google


1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING



SOCIETÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

NOTA. La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Mémoires ou Notes publiés dans le Bulletin.

1226. — Typ. GUIRAUDET et FILS, place de la Mairie, 2, à Neuilly.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

FONDÉE LE 4 MARS 1848

ANNÉE 1859

Paris

RUE BUFFAULT, 26

MÉMOIRES

ET

COMPTE-RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(JANVIER, FÉVRIER ET MARS 1859)

N° 5.

Pendant ce trimestre, on a traité les questions suivantes :

1° Installation des nouveaux membres du bureau et du comité. (Voir le résumé de la séance du 7 janvier, p. 25.)

2° Travaux de fondation du *pont du Rhin entre Strasbourg et Kehl,* par M. Vuigner. (Voir le résumé des séances des 21 janvier et 4 février, p. 37 à 44 et 49.)

3° Nouveau procédé imaginé par M. T. Guibal pour le fonçage d'une avaleresse dans les sables mouvants et les terrains ébouleux, par M. Ch. Laurent. (Voir le résumé de la séance du 21 janvier, p. 45 à 49.)

4° Publication des brevets d'invention. (Voir le résumé de la séance du 4 février, p. 49.)

5° Percement de l'*isthme de Panama par le canal de Nicaragua*, exposé de la question, par M. Faure. (Voir les résumés des séances des 4 février et 4 mars, p. 50 à 67 et 82.)

6° Préparation des bois au sulfate de cuivre, procédé Legé et Fleury Pironnet, par M. Ch. Richoux. (Voir le résumé de la séance du 18 février, p. 68.)

7° Résumé analytique du mémoire de M. le Préfet de la Seine sur les *Eaux de Paris*, par M. Guillaume. (Voir les résumés des séances des 18 février, 4 et 18 mars, p. 69 à 81 et 83 à 109.)

8° Répartition du poids des locomotives sur les essieux, mémoire de H. Mathieu, résumé par M. Benoît Duportail. (Voir le résumé de la séance du 18 février, p. 82.)

Pendant ce trimestre, la Société a reçu :

1° De la Société des ingénieurs de Londres, les résumés des séances des 23 et 30 novembre, 7 et 14 décembre 1858 et 11 et 18 janvier, 8 et 15 février et 1er mars 1859 ;

2° De la Société d'Encouragement, les nos de novembre et décembre 1858 et janvier 1859 ;

3° De M. Oppermann, les nos de décembre 1858, et janvier et février 1859, des *Nouvelles Annales de la construction et du Portefeuille économique des machines*, ainsi que le no de janvier 1859 de l'*Album pratique d'ornements* ;

4° Les nos de janvier, février et mars 1859, du journal *The Engineer* ;

5° Les nos de septembre, octobre et novembre 1858 des *Annales des ponts et chaussées* ;

6° De la Société industrielle de Mulhouse, un exemplaire de ses derniers Bulletins ;

7° De M. Love, membre de la Société, un exemplaire de son Mémoire sur l'établissement des voies ferrées économiques ;

8° De M. Henri Mathieu, membre de la Société, un Mémoire sur la répartition du poids des machines locomotives sur leur essieux et sur les rails ;

9° Du Ministre des Travaux publics de Belgique, un exemplaire des *Comptes rendus des opérations des chemins de fer de l'État Belge* pendant les années 1840, 1842, et 1844 à 1857 inclusivement ; et un exemplaire de l'ouvrage intitulé : *Des voies navigables en Belgique,* par M. l'inspecteur Vifquain ;

10° Un exemplaire de la brochure de M. Kuhlmann, sur la silicatisation des pierres, que M. Desnos, sur la demande de M. le Président, a bien voulu donner à la Société ;

11° De M. Noblet, éditeur, un exemplaire de la livraison de novembre 1858 de la *Revue universelle des mines et de la métallurgie ;*

12° Les nos de décembre 1858 et janvier et février 1859 des *Annales des conducteurs des ponts et chaussées ;*

13° Les nos de décembre 1858 et janvier et février 1859 des *Annales télégraphiques ;*

14° De la Société impériale et centrale d'agriculture, un exemplaire de son dernier Bulletin ;

15° De M. Ebray, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure sur les *Études géologiques du département de la Nièvre ;*

16° De la Société Vaudoise, un exemplaire de son dernier Bulletin ;

17° Les nos de décembre 1858 et janvier et février 1859, des *Annales forestières et métallurgiques ;*

18° De M. A. Burat, un exemplaire de sa brochure sur la *Situation de l'industrie houillère ;*

19° De M. Dinan, membre de la Société, un exemplaire de sa

brochure intitulée : *Construction des formules de transport pour l'exécution des terrassements;*

20° De M. Desnos, membre de la Société, un exemplaire des nos de janvier, février et mars 1859, du Journal *l'Invention;*

21° De la Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne, un exemplaire de son bulletin du troisième trimestre de 1858;

22° De la Société des ingénieurs autrichiens, les nos 9 et 10 de leur Revue;

23° De M. Henri Mathieu, membre de la Société, une note sur la suppression du *Tolage des bandages de roues de machines et de wagons au moyen de la machine à mandriner;*

24° De M. Ch. Laurent, membre de la Société un exemplaire d'une brochure sur le *Sahara oriental* au point de vue de l'établissement des puits artésiens dans l'*Oued-Souf, l'Oued-R'ir et les Zibans;* et un exemplaire d'une notice sur *les eaux de Paris;*

25° De M. Barthélemy, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure intitulée : *L'Opéra et le Théâtre de la Seine;*

26° De M. César Daly, les nos 7 et 8 de sa *Revue d'architecture et des travaux publics;*

27° De M. Mellet, une brochure intitulée : *Études des Isthmes de Suez et de Panama;*

28° De M. Sambuc, membre de la Société, une note et les dessins d'un nouveau système de *Chariot roulant pour la manipulation des wagons dans les gares;*

29° De M. Hauchecorne, un exemplaire des *Tableaux statistiques des résultats d'exploitation des chemins de fer de l'Allemagne en* 1857;

30° De M. Mariotte, membre de la Société, une note sur une nouvelle fabrication de *Tuyaux de plomb étamés;*

31° De M. Beaudemoulin, ingénieur en chef des ponts et chaussées, un exemplaire de sa notice sur l'*assainissement de Paris;*

32° De M. Henri Mathieu, membre de la Société, une note sur *la consolidation des plaques de foyer des machines locomotives;*

33° De M. Curtel, membre de la Société, un mémoire sur *la fabrication des rails;*

34° De l'Institution of Mechanical Engineers, le n° d'août 1858 de son bulletin;

35° Un exemplaire d'une notice sur *Philippe de Girard;*

36° Des Annales des mines, un exemplaire de la 4e livraison de 1858.

Les membres nouvellement admis sont les suivants :

Au mois de janvier,

MM. Brocchi (Auguste), présenté par MM. Faure, Valerio et Brocchi (Ch.).
Chapelle, présenté par MM. Faure, Thomas et Callon.
Chiandi, présenté par MM. Faure, Barrault, E. et H. Péligot.
Lecherf, présenté par MM. Nozo, Benoit, Duportail et Richoux.
Lefrançois, présenté par MM. Flachat, Love et Guillaume.
Maure, présenté par MM. Fontenay Toni, Thevenet et de Ruolz.
Poiret, présenté par MM. Flachat, Thomas et Falies.
Poncin, présenté par MM. Faure, Ser et H. Peligot.
Vée, présenté par MM. Faure, Vuigner et Degousée.

Au mois de Février,

MM. Achard, présenté par MM. Faure, Tresca et Coignet.
Appert, présenté par MM. Faure, Callon et Valentin.
Caron, présenté par MM. Faure, Callon et Cauvet.
Chaper, présenté par MM. Flachat, Petiet et Vuigner.
Cazes, présenté par MM. Faure, Callon et Valentin.
Cheronnet, présenté par MM. Faure, Trélat et Tresca.
Engelmann, présenté par MM. Petiet, Loustau et Mathias (Félix).
Marindaz, présenté par MM. Faure, Callon et H. Peligot.

Au mois de Mars,

MM. Castor, présenté par MM. Flachat, Petiet et Vuigner.
Martin (William), présenté par MM. Faure, Le Brun et Hubert.

LISTE GÉNÉRALE DES SOCIÉTAIRES (ANNÉE 1859)

Membres du Bureau.

Président :

M. Faure (A.) ✻, rue Paradis-Poissonnière, 19.

Vice-Présidents :

MM. Vuigner (E.) O. ✻, faub. Saint-Denis, 146.
Nozo (Alfred) ✻ ✠, boulevard du Nord, 51.
Alcan (Michel) ✻, rue d'Aumale, 21
Petiet (J.) O. ✻ ✠ ✱ ⊛, rue Lafayette, 34.

Secrétaires :

MM. Ser (L.), rue Bleue, 3.
Peligot (Henri), rue Bleue, 5.
Guillaume, rue de Lancry, 55.
Benoit-Duportail, chaussée Clignancourt, 51.

Trésorier :

M. Loustau (G.) ✻, rue de Saint-Quentin, 23.

Membres du Comité.

MM. Degousée ⊛, rue Chabrol, 35.
Barrault (Alexis) ✻, rue de Clichy, 63.
Laurent (Charles), rue Chabrol, 35.
Salvetat ✻, à Sèvres (Manufacture impériale).
Forquenot, boulevard de l'Hôpital, 7.
Thomas (Léonce) ✻, rue des Beaux-Arts, 2.

Yvon-Villarceau ✻ ✻, à l'Observatoire.
Alquié, rue d'Enghien, 15.
Callon (Ch.) ✻, rue Royale-Saint-Antoine, 16.
Chobrzynski ✻, boulevard du Nord, 49.
Flachat (E) O. ✻ ✻, rue de Londres, 51.
Bergeron, rue de Lille, 79.
Polonceau (C.) O. ✻, quai Malaquais, 9.
Mathias (Félix) ✻ ✻ ✠ ✻, rue de Saint-Quentin, 23
Laurens ✻, rue des Beaux-Arts, 2.
Molinos (Léon), rue Chaptal, 22
Yvert (Léon), rue Tronchet, 29.
Houel ✻, quai de Billy, 48.
Trélat (E.) ✻, rue de La Tour d'Auvergne, 37.
Bréguet ✻, place de la Bourse, 4.

Président honoraire :

M. A. Perdonnet O ✻, à la gare du chemin de fer de Strasbourg.

Membres honoraires.

MM. Hodgkinson, Eaton, 44, Drayton grave, Brompton (Angleterre).
Morin (le général) O ✻, rue Neuve-des-Mathurins, 38.
Poncelet (le général) O ✻, rue de Vaugirard, 58.

Sociétaires.

MM. Aboilard, à Corbeil (Seine-et-Oise).
Achard, rue du Cherche-Midi, 99.
Agudio, à Turin (Piémont).
Albaret, en Espagne.
Alby, à Turin (Piémont).
Alcan ✻, rue d'Aumale, 21.
Alléon, rue d'Amsterdam, 52.
Alquié, rue d'Enghien, 15.

ANCEL, rue de l'Herberie, 2, à Lyon (Rhône).
ANDRAUD, rue Mogador, 4.
ANDRY, à Boussu, près Mons (Belgique).
APPERT, rue Royale, 6, à la Grande-Villette.
ARMENGAUD aîné, rue Saint-Sébastien, 45.
ARMENGAUD jeune, boulevard de Strasbourg, 23.
ARSON, rue de Bourgogne, 40.
BALESTRINI, rue Notre-Dame-des-Champs, 82.
BARBEROT ✻ ❋, rue de la Santé, 75, à Batignolles.
BARET, chez M. Ducommun, à Mulhouse (Haut-Rhin).
BARRAULT (Alexis) ✻, rue de Clichy, 63.
BARRAULT (Émile), boulevard Saint-Martin, 33.
BARROUX, à Chaumont (Haute-Marne).
BARTHÉLEMY, quai Voltaire, 3.
BAUDOIN, rue des Récollets, 3.
BAUMAL, rue du Faubourg-Montmartre, 30.
BEAUCERF, à Chambéry (Savoie).
BEAUSSOBRE (de), rue de Belzunce, 16.
BELLIER, au chemin de fer du Midi, à Bordeaux (Gironde).
BENOIT DUPORTAIL, chaussée Clignancourt, 51, à Montmartre.
BENOIST D'AZY (Paul), à Fourchambault (Nièvre).
BERGERON, rue de Lille, 79.
BERTHOLOMEY, rue Mandar, 6.
BERTHOT, rue des Bons-Enfants, 19.
BERTON, rue Saint-Antoine, 27, à Versailles
BERTOT, rue Notre-Dame-de-Nazareth, 10.
BÉUGNOT, maison Kœchlin, à Mulhouse (Haut-Rhin)
BÉVAN DE MASSI, à Madrid (Espagne).
BINDER (Jules), rue d'Anjou-Saint-Honoré, 72.
BIPPERT, au chemin de fer de Lyon à la Méditerranée, à Arles (Bouches-du-Rhône).
BIVER ✻, à Saint-Gobain, par Coucy-le-Château (Aisne).

Blanche, à Puteaux (Seine).

Blard, aux ateliers du chemin de fer d'Orléans, à Ivry.

Blonay (De), chez M. Dietrich, maître de forges, à Niederbronn (Bas-Rhin).

Blondeau, aux mines de Blanzy (Saône-et-Loire).

Blot (Léon), via del Seminario, 181, à Civita-Vecchia (Italie).

Blutel, à Nancy (Meurthe).

Bois (Victor), place du Havre, 14.

Boivin, rue de Flandre, 139, à la Villette.

Bonnet (Félix), rue de Sèvres, 8.

Bonnet (Victor), hôtel de la Minerve, à Rome.

Bordet, à Remilly, par Sombernom (Côte-d'Or).

Borgella, rue d'Hauteville, 8.

Bossu, à Dieuze (Meurthe).

Boudard aîné, à Dangu, près et par Gisors (Eure).

Boudard jeune, à Pont-Rémy (Somme).

Boudsot, à Besançon (Doubs).

Bougère, à Angers (Maine-et-Loire).

Bouilhet, rue de Bondy, 56.

Bouillon, rue de Chabrol, 33.

Bourcard, à Guebwiller (Haut-Rhin).

Bourdon ✻, route de Toulon, 158, à Marseille.

Bourdon (Eugène) ✻, faubourg du Temple, 74.

Bourgougnon, cité Gaillard, 5.

Bournique, quai Jemmapes, 288.

Bourset, gare de Ségure, à Bordeaux (Gironde).

Bousson, chemin de fer Grand-Central, à Lyon (Rhône)

Boutigny, d'Évreux ✻, ingénieur-chimiste, rue de Flandre, 52, à La Villette.

Boutin, rue de Javel, 64, à Grenelle.

Boutmy, à Nîmes, (Gard).

Boyer, à Langres (Haute-Marne).

Branville (De), rue Notre-Dame-des-Champs, 82.
Breguet ✤, place de la Bourse, 4.
Bricogne ✤, rue du Faubourg-Poissonnière, 50.
Bridel, à Bienne (Suisse).
Brocchi (Auguste), rue Racine, 30.
Brocchi (Charles), rue Blanche, 88.
Brozler, rue du Petit-Carreau, 24.
Bruère, à Belfort (Haut-Rhin).
Brull, rue de Moscou, 3.
Buddicom, à Sotteville-lès-Rouen (Seine-Inférieure)
Bureau, rue Joubert, 9.
Burel, rue d'Harcourt, 3, à Rouen (Seine-Inférieure).
Burt, rue Caumartin, 54.
Busschopp, rue des Marais-Saint-Martin, 20.
Cahen, rue d'Abbeville, 3.
Caillé, rue Saint-Lazare, 82.
Caillet, à Lyon (Rhône).
Caillot-Pinart, rue du Faubourg-Saint-Martin, 140.
Calla ✤, rue Lafayette, 11.
Callon ✤, rue Royale-Saint-Antoine, 16.
Cambier, à l'hôpital militaire du Gros-Caillou.
Capdevielle, rue Saint-Martin, 210.
Capuccio, à Turin (Piémont).
Caron, rue Taitbout, 67.
Castel (Émile), rue de la Charronerie, 1, à Saint-Denis.
Castor, à Mantes (Seine-et-Oise).
Cauvet, boulevard du Temple, 39.
Cavé (François) ✤, rue du Faubourg-Saint-Denis, 222.
Cavé (Amable), avenue Montaigne, 51.
Cazes, à Saint-Louis, près Marseille (Bouches-du-Rhône).
Cernuschi, à Huelva (Andalousie).
Chabrier, rue Saint-Lazare, 99.

Championnière, rue Olivier, 4

Charaudeau, boulevard Poissonnière, 20.

Charbonnier, rue de Lancry, 24.

Chapelle, rue du Chemin Vert, 5.

Chaper, rue Buffault, 11.

Charpentier, rue des Lions-Saint-Paul, 5

Chauvel, à Navarre, par Évreux (Eure).

Chavès, inspecteur du service des eaux au chemin de fer du Nord, rue de Paradis-Poissonnière, 12.

Chéronnet, à Maison-Laffite (Seine-et-Oise).

Chevalier (Charles), cour des Fontaines, 1.

Chevandier, rue de la Victoire, 22, hôtel de la Victoire.

Chiandi, rue Tronchet, 32.

Chobrzynski ✻, boulevard du Nord, 49

Chollet, à Belfort (Haut-Rhin).

Chuwab, à Terre-Noire, près Saint-Étienne (Loire).

Claudio Gil, à Barcelonne (Espagne).

Clément Desormes, rue Bourbon, à Lyon.

Coignet, quai Jemmapes, 228.

Colladon, à Genève (Suisse).

Coquerel, rue Moncey, 16.

Cordier, à Alexandrie (Égypte).

Cornet, rue du Temple, 207.

Cosyns, directeur des forges de Saarbruk (Prusse)

Courras, rue de Saint-Quentin, 57.

Courtépée, rue des Francs-Bourgeois, 5.

Courtines (Jacques) ✻, à Louga (Russie).

Crespin, rue d'Enghien, 28.

Crétin ✻, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 182

Curtel, à Montluçon (Allier).

Daguin (Ernest), rue Geoffroy-Marie, 3.

Dallot, au chemin de fer, à Audenarde (Belgique).

Darblay, à Corbeil (Seine-et-Oise).

Debauge ✠, **rue du Helder, 5.**
Debié, rue de Douai, 16.
Debonnefoy, rue de Madame, 6.
Decaux, boulevard Saint-Jacques, 84.
De Coene, à Rouen (Seine-Inférieure).
Decomberousse, rue des Martyrs, 47.
Dedion, rue Godot-Mauroy, 14.
Deffosse, au chemin de fer de Lyon à Genève, à Genève.
Degousée ⊕, rue Chabrol, 35.
Degousée (Edmond), rue Chabrol, 35.
Dejoly (Théodore), rue Martignac, 1.
Delanney, agent-voyer en chef au Mans (Sarthe).
Delattre, directeur de l'usine à gaz, Meaux (Seine-et-Marne).
Delaville-Leroux, directeur des forges d'Imphy (Nièvre).
Delebecque, rue de l'Arcade, 15.
Deligny, à Huelva (Andalousie).
Delom, rue Rochechouard, 20.
Delpèche, rue Rambouillet, 2.
Deniel ✠, ingénieur au chemin de fer de Montereau à Troyes, à Troyes (Aube).
Denise, à Saint-Pétersbourg.
Desbrière, rue des Martyrs, 43.
Desforges, au chemin de fer de Mulhouse (Haut-Rhin).
Desgranges, à Sotteville-lès-Rouen (Seine-Inférieure).
Desnos, boulevard Saint-Martin, 29.
Desnoyers, aux Forges du Phénix, Ruhrort (Prusse).
Desmasures, O ✠ ✠, rue Taitbout, 67.
Devaureix, rue de Jessaint, 8, à La Chapelle-Saint-Denis.
Devers, chaussée Clignancourt, 74, à Montmartre.
D'Hamelincourt, rue Neuve-Coquenard, 11 *bis*.
Diard, rue Saint-Gilles, 11.
Dinan, rue de Fontenay, 92, à Vincennes.

Dombrowski, à Bar-le-Duc (Meuse).

Donnay, chef du bureau des études au chemin de fer du Nord, passage Sandrié.

Dubied, à Mulhouse (Haut-Rhin).

Dubois, rue Saint-Victor, 36.

Dufournel, à Gray (Haute-Saône).

Dugourd, rue Armery, 8, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

Dulong ✻, rue du Regard, 5.

Duméry, boulevard de Strasbourg, 26.

Du Pan (Louis), à La Fère (Aisne).

Durenne, rue des Amandiers-Popincourt, 11.

Durocher, rue de la Verrerie, 83.

Duval (Edmond), aux forges de Paimpont, près Plélan (Ille-et-Vilaine).

Ébray, à Sancerre (Cher).

Edwards ✻, rue Saint-Honoré, 243.

Eiffel, à Cenon la Bastide, par Bordeaux (Gironde).

Engelmann, ingénieur des ateliers de Saint-Martin, près Charleroi (Belgique).

Ermel, rue Montholon, 28.

Estoublon, maître de forges à Bourges (Cher).

Etienne, avenue de Clichy, 18.

Évrard, rue Saint-Samson, 28, à Douai (Nord).

Faliès, place Dauphine, 24.

Farcot (J.-J.-Léon), au port Saint-Ou en (Banlieue).

Fauconnier, avenue Parmentier, 15.

Faure (Auguste) ✻, rue Paradis-Poissonnière, 19.

Fellot, cité Gaillard, 8.

Ferot ✻, rue d'Amsterdam, 15.

Fèvre, rue et cité Turgot, 5 et 7.

Fièvet, à Vierson (Cher).

Flachat (Eugène) O ✻ ✻, rue de Londres, 51.

Flachat (Adolphe), rue Caumartin, 70.

FLACHAT (Jules), à Saint-Pétersbourg.

FLACHAT (Yvan), rue Lavoisier, 1.

FONTENAY (De), rue de la Chaussée-d'Antin, 49 bis.

FONTENAY (Toni), ingénieur en chef du chemin de fer de Saint-Rambert à Grenoble, à Grenoble (Isère).

FONTENAY (De), à Baccarat (Meurthe).

FOREY, à Montluçon (Allier).

FORQUENOT, boulevard de l'Hôpital, 7.

FORTIN HERMANN (Louis), rue des Fossés-St.-Bernard, 2.

FORTIN HERMANN (Émile), rue des Fossés-St.-Bernard, 2.

FOURNIER, rue de la Ville-l'Evêque, 40.

FOURNIER (A.), à Orléans (Loiret).

FREDET, à la papeterie, à Essonne (Seine-et-Oise).

FRESNAYE, à Marenlo, par Montreuil-sur-Mer (Pas-de-Calais).

FRICHOT, à Pont-Rémy (Somme).

FROMANTIN, rue Bellefond, 21.

FROMONT, ingénieur au chemin de fer de l'Est, Bar-le-Duc.

FROYER, à Rome (Italie).

FUCHET, à Haisne (Nord).

GALLAUD, rue des Dames, 104, aux Batignolles.

GANNERON, quai de Billy, 56.

GARDEUR-LE BRUN ✻, rue de Chabrol, 49.

GARNIER, rue Taitbout, 16.

GAUDET, à Rive-de-Gier (Loire).

GAUDRY (Jules), rue des Pyramides, 6.

GAVEAU, rue du Parc, 31, à Mons (Belgique).

GAYRARD (Gustave), rue du Dragon, 21.

GENTILHOMME, quai de la Tournelle, 45.

GEOFFROY, rue de la Nation, 14, à Montmartre.

GERDER, rue de la Chaussée-d'Antin, 49 bis.

GERMAIN, à l'usine à zinc, à Clichy.

GERMON, rue des Moulins, 15, à Belleville.

Gibon, à Montataire (Oise).

Geyler, rue Bleue, 35.

Girard, rue d'Enghien, 44.

Goschler, ingénieur, directeur des chemins de fer Hainaut et Flandres, rue Montayer, 6, à Bruxelles (Belgique).

Gottschalk, à Saint-Pétersbourg.

Gouin (Ernest) ✻, rue de la Chaussée-d'Antin, 19 bis.

Gouvy (Alexandre), aux forges de Hombourg, près Saint-Avold (Moselle).

Grenier (Achille) ✻, ingénieur en chef au chemin de fer Guillaume de Luxembourg (Grand-duché).

Guérard, au chemin de fer du Nord, à Amiens (Somme).

Guérin (de Litteau), à Bruxelles (Belgique)

Guérin, à Draguignan.

Guettier, aux fonderies de Marquise (Pas-de-Calais).

Guibal (Théophile), à l'École des mines, à Mons (Belgique).

Guibal (Jules), rue Pargaminières, 71, à Toulouse.

Guillaume (Charles), au chemin de fer du Midi, à Moissac (Tarn-et-Garonne).

Guillaume, rue de Lancry, 55.

Guillemin, à La Perraudette, près Lausanne (Suisse).

Guillemin, usine de Cosamène, à Besançon (Doubs).

Guillon, à Saint-Quentin (Aisne).

Guillot, aux ateliers du chemin de l'Ouest, à Batignolles.

Guiraudet ✻, place de la Mairie, 2, à Neuilly.

Hamoir, à Maubeuge (Nord).

Haussoulier, rue Notre-Dame, 1, à Batignolles.

Hermary, à Lambres, par Aire-sur-la-Lys (Pas de Calais).

Hervey (Picard), rue Antoinette, 24, à Montmartre.

Hervier, rue du Château-d'Eau, 72.

Heurtebise, rue Saint-Louis, 76, aux Batignolles.

Holcroft, à Tours (Indre-et-Loire).

Houel ✻, quai de Billy, 48.

Houlbrat, rue de la Rochefoucaud, 66.

Hovine, rue de Lyon, 4.

Hubert, rue Blanche, 69.

Hubert William, rue Miroménil, 2.

Huet, rue Bleue, 35.

Humblot, rue des Clers, à Metz (Moselle).

Imbs, à Brumath, près Strasbourg (Bas-Rhin).

Jacquesson (Ernest), rue Basse-du-Rempart, 2.

Jacquin, rue de l'Église, 20, à Batignolles.

Jeanneney, à Mulhouse (Haut-Rhin).

Jouannin, rue d'Amsterdam, 27.

Jousselin, rue Saint-Pierre-Amelot, 30.

Jullien, à l'usine de Lorette, à Rive-de-Gier (Loire).

Karcher, à Sarrebruck (Prusse-Rhénane).

Knab, rue de Seine, 72.

Kréglinger, à Malines (Belgique).

Laborie (De) ✤, quai de Béthune, 18.

Labouverie, rue Spintay, 59, à Verviers (Belgique).

Lacombe, Chaussée-d'Antin, 49 bis.

Lainé, rue de l'Écluse, 24, aux Batignolles.

Laligant, à Maresquel, par Champagne-lès-Hesdin (Pas-de-Calais).

Lalo, rue Saint-André-des-Arts, 45.

Lambert, à Vuillafons, par Ornans (Doubs).

Langlois (Charles), rue Joubert, 10.

Larpent, rue Royale 8, à la Villette.

Larochette (De), à Bastia (Corse).

La Salle, rue Saint-Georges, 58.

Lasseron, à Alexandrie (Égypte).

Lasvigne, à Bayeux (Calvados).

Laurens ✤, rue des Beaux-Arts, 2.

Laurent (Victor), à Plancher-les-Mines, près et par Champagney (Haute-Saône.)

Laurent Lambert, rue de l'Empereur, 33, à Montmartre.
Laurent (Charles), rue de Chabrol, 35.
Lavalley ✤, rue de Tivoli, 3.
Lavezzari, à Beaurain-Château, par Champagne-les-Hesdin (Pas-de-Calais).
Lebon (Eugène), boulevard de Strasbourg, 9.
Le Brun (Louis), rue de Valenciennes, 3.
Lecherf, rue Saint-Denis, 9, à Montmartre.
Le Cler (Achille), rue Saint-Lazare, 66.
Lecoeuvre, rue Saint-Louis, 83.
Leconte ✤, rue de Bercy, 4, à Paris.
Lecorbellier, rue de Londres, 39.
Lefèvre, passage du Havre, 43.
Lefrançois, rue Rocroy, 23.
Lefrançois fils, passage Neveu, 11.
Legavriand, à Lille (Nord).
Lemaire-Teste, rue de Lyon, 63.
Lemoinne ✤, rue d'Amsterdam, 21.
Lepeudry, rue Montholon, 28.
Le Roy, passage La Fayette, 5.
Levat ✤, à Arles (Rhône).
Limet, rue du Faubourg-Poissonnière, 32.
Loisel, à Melun (Seine-et-Marne).
Lopez Bustamante, à Santander (Espagne).
Loustau (Gustave) ✤, rue de Saint-Quentin, 23.
Love, rue de Turin, 4.
Loyd, chez M. Gouin, à Batignolles.
Machecourt, à Montricq, par Commentry (Allier).
Maire, ingénieur de la voie et du matériel, à Séville.
Mallac, à Évreux (Calvados).
Maldant, rue Lormont, 7, à Bordeaux (Gironde).
Malo, aux mines de Seyssel, à Pyrimont-Seyssel (Ain).
Manby (Charles), à Londres.

Mangeon, à Melun (Seine-et-Marne).
Maréchal, ingénieur du matériel, à Strasbourg (Bas-Rhin).
Marès (Henri), rue Sainte-Foy, à Montpellier (Hérault).
Marié, rue de Bercy, 4.
Marindaz, rue Saint-Honoré, 416.
Marion, rue Marcadet, 6, à La Chapelle.
Mariotte, rue des Récollets, 1, à Nantes (Loire-Inférieure).
Marle, rue du Rocher, 40.
Marsillon, chef d'arrondissement, à Belfort (Haut-Rhin).
Marsillon (Léon), avenue des Champs-Élysées, 78.
Martenot, à Ancy-le-Franc (Yonne).
Martin (J.-B.), rue Bonaparte, 20.
Martin, rue d'Amsterdam, 51.
Martin (Léon), à Commentry (Allier).
Martin ✠, place La Fayette, 22.
Martin (Charles-William), quai d'Orsay, 17.
Massé, place Royale, 6, à Reims (Marne).
Masselin, à la verrerie de M. Chance, à Birmingham.
Mastaing (De), boulevard Beaumarchais, 96.
Mathias (Félix) ✠✠✠✠, rue de Saint-Quentin, 25.
Mathias (Ferdinand) ✠, à Lille (Nord).
Mathieu (Henri), à Bordeaux (Gironde).
Mathieu (Ferdinand) ✠, au Creuzot.
Maure, rue de la Chaussée-d'Antin, 48.
Mayer ✠, rue Pigale, 26.
Mazeline, constructeur, au Havre (Seine-Inférieure).
Mazilier, rue Mazagran, 4.
Mégret, boulevard de Strasbourg, 89.
Mélin, rue Neuve-Coquenard, 11.
Méraux, rue de Metz, 14.
Mercier, rue Saint-Anastase, 7.
Mercier de Buessard, Pavé-des-Chartrons, 21, à Bordeaux.
Mesdach, rue Saint-Paul, 28.

Mesmer ♣, rue du Petit-Carreau, 24.
Meyer, rue de Clichy, 88.
Michel, à Troyes (Aube).
Michelant, au chemin d'Orléans (au dépôt, à Ivry).
Michelet, Chaussée-d'Antin, 27.
Mignon, rue de Ménilmontant, 151.
Minary, usine de Casamène, à Besançon (Doubs).
Miranda (De) ♣, à Madrid (Espagne).
Mirecki, à Amiens (Somme).
Mitchell, boulevard de la Râpée, 4, à Bercy.
Moléon, à Castres (Tarn).
Molinos, rue Chaptal, 22.
Montcarville, au chemin de fer de Tours, à Tours.
Montéjo, rue Saint-Lazare, 8.
Mony (Stéphane) ♣, boulevard des Italiens, 26.
Moreau (Albert), rue Neuve-de-l'Université, 9.
Morice, à Hazebrouck (Nord).
Mouillard, rue de Londres, 31.
Muller (Adrien), rue d'Amsterdam, 18.
Muller (Alfred), rue Demours, 25, aux Ternes.
Muller (Émile), rue de Chabrol, 33.
Nancy, à Strasbourg (Bas-Rhin).
Nepveu, rue de la Bienfaisance, 36.
Nillis (Auguste), à Chaumont (Haute-Marne).
Nodler, rue Hauteville, 32.
Nozo ♣ ✠, boulevard du Nord, 51.
Ottavi, avenue de Saint-Cloud, 31, à Passy.
Oudot, à Audenarde (Belgique).
Palotte fils, rue du Conservatoire, 11.
Paquin, au chemin de fer, à Mulhouse (Haut-Rhin).
Pecquet, aux États-Unis.
Péligot (Henri), rue Bleue, 5.
Pellier, rue du Faubourg-Saint-Martin, 111.

Pepin-Lehalleur ✤ +, au château de Coutançon, par Montigny-Liancourt (Seine-et-Marne).
Perdonnet (Auguste) O ✤, administrateur au chemin de fer de Strasbourg.
Péreire (Eugène) O ✤ +, faubourg Saint-Honoré, 35.
Pérignon, faubourg Saint-Honoré, 105.
Perrot ✤, rue de Sèvres, 76, à Vaugirard.
Petiet (Jules) O. ✤ + * +, rue Lafayette, 34.
Petin, à Rive-de-Gier (Loire).
Petit de Coupray ✤ +, rue Lafayette, 50.
Petitgand, rue Bleue, 5.
Petitjean, rue de Bruxelles, 15.
Pétre, rue de la Victoire, 31.
Picard, à Bar-sur-Aube (Aube).
Pierron ✤, rue de l'Église, 15, aux Batignolles.
Pinat, aux forges d'Allévard (Isère).
Piqué, boulevard Beaumarchais, 30.
Piquet, ingénieur en chef des mines de la compagnie générale du Crédit mobilier, à Madrid (Espagne).
Planhol (De) ✤, à Bayeux (Calvados).
Poinsot, au Conservatoire des Arts et Métiers.
Pollet, à Huelva (Andalousie).
Poiret, au Mans (Sarthe).
Polonceau O ✤, quai Malaquais, 9.
Poncet, au Cours-la-Reine, 28.
Poncin, à Saint-Antoine (Tarn-et-Garonne).
Pot, Grande-Rue Marengo, 20, à Marseille (B.-du-Rhône).
Pothier (Alfred-Franç.), rue des Coutures-St-Gervais, 1.
Pottier (Ferdinand), passage des Eaux, 4, à Passy.
Pouchet, rue Dauphine, 20.
Pouell, chef de section au chemin de fer du Nord, à Amiens.
Poupé, à Amiens (Somme).
Priestley, rue Saint-Gilles, 17.

PRINCET, rue de Bondy, 92.
PRISSE ✻, au chemin de fer d'Anvers, à Gand.
PROAL, quai de Béthune, 22.
PRONNIER, rue Chaptal, 22.
PURY (De), à Neuchâtel (Suisse).
QUÉTIL (Julien), à la Havane.
RAABE (Émile), chez M. Jackson, à Saint-Étienne.
RANCÉS, rue Neuve, 30, à Bordeaux (Gironde).
REDON, allée des Bénédictins, à Limoges (Haute-Vienne)
REGAD (Léon), rue de la Préfecture, à Besançon (Doubs).
RÉGEL (De) ✻, à Strasbourg (Bas-Rhin).
REGNAULT, rue de Stockolm, 4.
RENARD, à Fécamp (Seine-Inférieure).
RENAUD, à Deluz, canton de Roulans (Doubs).
REYMOND, à St-Nazaire (Var).
REYNAUD, à Cette (Hérault).
REYNIER, rue Rossini, 2.
REYTIER, via dell' Impressa, 11, à Rome.
RHONÉ ✻, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.
RIBAIL, rue de Londres, 49.
RICHARD, à Saint-Lô (Manche).
RICHOMME, rue de Dunkerque, 15.
RICHOUX, quai Saint-Michel, 19.
ROMME, à Saint-Quentin (Aisne).
ROUSSEL (Simon), rue Saint-Louis, 67.
ROY (Edmond), quai Malaquais, 25.
ROZE, rue des Filles-du-Calvaire, 25.
RUOLZ O ✻ ✦, rue du Regard, 5.
SAINT-JAMES, rue de la Fontaine, 64, à Auteuil.
SALLERON, à Sens (Yonne).
SALVETAT ✻, à la Manufacture impériale de Sèvres.
SAMBUC, rue de Berry, 28, à Lauzanne (Suisse).
SARAZIN, boulevard de Strasbourg, 89.

Saulnier, rue Saint-Sulpice, 24.
Sautter, avenue Montaigne, 37.
Scellier, aux usines Sommelet-Dantan et C^e, à Courcelles, près Nogent-le-Roi (Haute-Marne).
Schivre, à Épernay (Marne).
Schlincker, à Creutzwald (Moselle).
Schlumberger, au château de Guebviller (Haut-Rhin).
Schmerber, à Mulhouse (Haut-Rhin).
Séguin (Paul), rue Louis-le-Grand, 3.
Ser, rue Bleue, 5.
Servel, à Bordeaux (Gironde).
Siéber, à Audincourt (Doubs).
Simon (Paul), à Mettlach (Prusse rhénane).
Souchay, à Rome.
Stéger, aux ateliers du chemin de fer d'Orléans, à Ivry.
Tardieu, rue des Urselines, à Valenciennes.
Tardieu (Georges), rue de Tournon, 13.
Tétard, rue des Petites-Écuries, 9.
Thaurin, rue d'Amsterdam, 64.
Thauvin, rue Saint-Denis, 328.
Thêtard, usines de Dammarie, près Ligny (Meuse).
Thevenet, rue de la Chaussée-d'Antin, 48.
Thirion, boulevard Beaumarchais, 96.
Thomas (Léonce) ✠, rue des Beaux-Arts, 2.
Thomas (Frédéric), à Cramaux (Tarn).
Thomé de Gamond, rue du Havre, 5.
Thouin ✠, rue de Valenciennes, 1.
Thouvenot, à Bex, canton de Vaud (Suisse).
Tourneux (Félix), rue de Penthièvre, 15.
Tresca ✠✠✠✠✠, ingénieur, sous-directeur au Conservatoire.
Trélat ✠, rue de la Tour-d'Auvergne, 37.
Tronquoy (Camille), rue Mazagran, 20.
Ubaghs, à Saint-Dizier (Haute-Marne).

Vaillant, rue d'Enghien, 49.
Valentin, rue Jacob, 4.
Valério, rue Basse-du-Rempart, 44.
Vallez, rue de Seine, 61.
Vallier, rue de la Paroisse, 73, à Versailles.
Vandel, aux forges de la Ferrière-sous-Jougne (Doubs)
Vauthier, à Martigny, Valais (Suisse).
Vée, rue des Poissonniers, à Saint-Denis.
Vigneaux, place Royale, 15.
Vinchon, rue de Hanovre, 5.
Viron, au chemin de fer, à Angoulême (Charente).
Voruz aîné, à Nantes (Loire-Inférieure).
Vuigner (Émile), O ✱, rue du Faubourg-Saint-Denis, 146.
Vuillemin ✱, à Épernay (Marne).
Wahl, rue de Bercy, 4, à Paris.
Wallaert, à Lille (Nord).
Weil (Frédéric), rue des Petites-Écuries, 13.
Willien (Léon), rue du Fg-de-Saverne, 53, à Strasbourg.
Windisch, avenue des Ternes, 38, aux Ternes.
Wissocq (Alfred), à Amiens (Somme).
Wolski, ingénieur des mines d'Auriol (Bouches-du-Rhône).
Yvert (Léon), rue Tronchet, 29.
Yvon-Villarceau ✱ ✶, à l'Observatoire.

RÉSUMÉ DES PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

PENDANT LE 1er TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1859

SÉANCE DU 7 JANVIER 1859

Présidence de M. Eugène Flachat

L'ordre du jour appelle l'installation du Président et du Bureau récemment élus. Le Président sortant, M. Eugène Flachat, explique d'abord qu'il croit utile d'ajouter, cette année, au résumé des travaux de la Société et à celui des progrès de l'art, réalisés par les ingénieurs civils dans les travaux publics et dans l'industrie, des considérations sur la situation actuelle des chemins de fer en France.

Il rappelle ensuite que M. J. Locke, dans son discours d'installation à la présidence de la Société des ingénieurs civils de Londres, a cru de même devoir exposer cette situation de l'industrie des chemins de fer en comparant les résultats d'une concurrence illimitée, telle qu'elle a eu lieu en Angleterre, avec ceux de l'action mixte du gouvernement et des compagnies, qui a prévalu en France.

M. E. Flachat expose comment l'administration des ponts et chaussées, si fortement constituée et dont le personnel se recrute dans la jeunesse la plus forte en instruction préparatoire et reçoit un complément de notions scientifiques si élevées, est intervenue dans l'industrie des chemins de fer.

Ses ingénieurs y prennent une large part, préparés depuis plusieurs années par l'organisation du contrôle qui a initié une pépinière d'intelligences d'élite aux règles de la construction et de l'exploitation de cette industrie.

M. le Président expose comment cette grande administration procède et doit procéder par voie de généralisation dans les trois œuvres qui composent son histoire : les routes, les canaux, les chemins de fer.

Huit mille six cents kilomètres de chemins de fer sont en exploitation; sept mille cinq cents kilomètres sont en construction ou concédés. Cependant, en ce qui se rapporte à ces grandes voies de communication, la France est au troisième rang, dans le monde, quant à l'étendue des chemins décrétés; par rapport à sa population, elle est au septième rang; par rapport à l'étendue de son territoire, elle est au cinquième, et quand l'étendue des che-

mins décrétés sera doublée, elle n'aura pas encore égalé chez elle les conditions de viabilité des nations auxquelles elle ne veut rien céder en richesse agricole et industrielle et en puissance.

Rappelant les leçons de l'expérience, M. le Président indique à grands traits ce qui est advenu dans la construction et l'entretien des routes impériales sous l'action immédiate et exclusive de l'administration des ponts et chaussées, comment enfin et vingt ans seulement après l'Angleterre, l'Allemagne, la Belgique, etc., on est arrivé au mode actuel d'établissement des routes réunissant les conditions d'une exécution économique à celles d'une viabilité parfaite.

Huit cents millions ont été dépensés en canaux et en améliorations de rivières. Nous avons, en cours d'eau naturels et artificiels, douze mille kilomètres de voies navigables fréquentées par la batellerie. Cependant, en 1855, le réseau exploité des chemins de fer n'étant que de cinq mille kilomètres, le transport des marchandises seulement y était du triple de celui qui s'effectuait sur le réseau des voies navigables.

La gratuité d'usage ou d'exploitation des routes et des voies navigables est une conséquence naturelle de leur accessibilité absolue, tandis que sur les chemins de fer l'exploitation n'est possible que par un seul, dans les conditions voulues d'ordre et de sécurité. Il est déjà regrettable que le nombre des initiatives intéressées à leur perfectionnement, soit restreint par l'unité de direction obligée pour chaque ligne, et il y a lieu de compenser cela en cherchant dans l'exploitation des chemins de fer, la forme et la limite de la liberté qui sollicite le plus le progrès, qui intéresse à sa réalisation le plus grand nombre d'initiatives.

L'art de leur construction doit avoir des solutions multiples appropriées à leur usage spécial, aux conditions économiques de leur existence, de leur exploitation. De là la nécessité de modifier les types et les conditions d'exécution, de limiter les risques de l'expropriation des terrains, de fixer des tarifs divers dont la limite maxima ne s'arrêterait qu'aux prix actuels de transports par les voies ordinaires, de laisser plus d'indépendance dans les méthodes d'exploitation.

C'est, en un mot, la solution à laquelle nos voisins ont été poussés par la libre concurrence, réduisant de jour en jour pour leurs nouvelles lignes le coût de la première construction et l'ayant abaissé déjà de plus de moitié.

Il me reste à vous entretenir, dit M. le Président, des progrès qu'a faits l'art de l'ingénieur dans l'année 1858. Ces progrès, Messieurs, prennent difficilement une date assez précise pour qu'on puisse les rapporter à une période de temps aussi courte qu'une année. Cependant, le programme qui nous est donné, celui que la Société anglaise des Ingénieurs civils a inscrit en tête de ses statuts, comme l'expression de notre mission dans le monde, ***de faire contribuer toutes les forces naturelles au bien-être de l'humanité***, ce programme est assez riche pour ne nous laisser que l'embarras du choix dans l'exposé des résultats obtenus récemment.

Nous placerons au premier rang les applications de la mécanique à l'agriculture. A part la substitution rapide des machines à battre à l'une des

mains-d'œuvre les plus nuisibles à la santé des ouvriers, nous avons à nous féliciter du succès, désormais assuré, de l'application de la machine à vapeur au labour. Le coût de 30 fr. l'hectare pour cette opération, correspondant au prix du combustible à 30 fr. la tonne et au salaire de 25 c. par heure d'ouvrier, est plus bas que la moyenne du coût habituel du labour en France, par la méthode ordinaire. Ce prix est obtenu en y comprenant 20 pour 100 d'usure, entretien et amortissement des appareils. Le travail est, en outre, meilleur, plus rapide, et dépend moins des intempéries. Ce sera une des plus heureuses améliorations dans nos climats, où la préparation de la terre, avant d'ensemencer, se fait habituellement dans la saison pluvieuse et dans d'assez mauvaises conditions.

La machine à vapeur a reçu des perfectionnements. Il a été bien constaté qu'il convient de donner à la vapeur une augmentation de température à la sortie de la chaudière pour éviter la condensation dans les cylindres et lui conserver son élasticité. La construction des locomotives avait amené, dans celle des machines fixes, une grande simplification du mécanisme; celle des locomobiles y a ajouté encore, et les soins qu'exigent toutes ces machines descendent, de plus en plus, à la portée des intelligences les plus ordinaires. C'est là un progrès qui, pour être modeste, n'en est pas moins fort important : le perfectionnement d'un outil est tout autant dans les effets à en attendre que dans l'extension du nombre de ceux appelés à s'en servir.

La machine locomotive s'adapte de plus en plus spécialement à la nature du trafic qu'elle doit desservir; on est aussi plus fixé sur les conditions relatives de la voie et du matériel, et les dépenses d'exploitation diminuent en ce qui concerne l'emploi des agents mécaniques. Notre Société a le droit de signaler, comme l'œuvre directe de ses membres, une notable part de ces progrès.

Les méthodes d'emploi du combustible ou, pour parler d'une manière plus technique, la combustion de la houille et du coke, n'ont fait à aucune époque des progrès plus pratiques. Il semble que le mérite et l'application des belles théories d'Ebelmen se soient subitement révélés. Ainsi on est en pleine voie d'obtenir dans l'emploi du coke la combustion complète des gaz dégagés, par l'élévation de la température, dans les foyers incandescents; on recherche plus vivement encore, dans l'emploi de la houille, la combustion de la fumée; on y parvient par des procédés de plus en plus simples; enfin la substitution de la houille au coke, dans les foyers des machines locomotives, devient générale pour les transports des marchandises et s'étend à celui des voyageurs. Vous savez comme moi que c'est aux Ingénieurs membres de cette Société qu'il faut rapporter une bonne part de l'initiative qui a été prise, par l'industrie, dans ces recherches et du succès qui l'a suivie.

L'étude de la voie des chemins de fer, surtout en ce qui concerne sa rigidité et l'amélioration de la qualité des rails, est aussi un des plus graves sujets de préoccupation pour les ingénieurs.

L'expérience a constaté que la destruction rapide des rails par désagrégation, rupture et exfoliation, est due principalement au défaut de rigidité de la voie, et surtout à la mauvaise qualité du fer : en ce sens, qu'à égalité de résis-

tance et identité de forme, il y a de telles différences dans la durée des rails suivant la qualité du fer, qu'une des sources d'économie les plus sérieuses dans l'exploitation est d'avoir des rails en bon fer. Les ingénieurs que leur séjour dans les usines à fer a familiarisés avec les procédés de fabrication apportent dans cette grave question un concours précieux. Déjà la voie est devenue, par l'augmentation du nombre et de la surface de ses points d'appui sur le sol, et par l'éclissage des joints, plus rigide et plus stable, au point qu'on peut reconnaître que l'effet utile des machines s'est accru par cette cause. L'amélioration des rails aura des conséquences plus immédiates encore; elle a beaucoup à attendre des perfectionnements généraux que reçoit la fabrication du fer. Arrêtons-nous un instant sur cet intéressant sujet.

Une des découvertes les plus récentes, dans la fabrication du fer, est la faculté qu'il a de recevoir la trempe à des degrés différents de décarburation, sans perdre d'ailleurs aucune de ses qualités comme fer. Les esprits sont tendus sur les conséquences d'un fait qui permet de tirer à volonté du four à puddler du fer où la plus faible différence chimique entraîne une différence physique si considérable. Nous ne voulons pas dire qu'en ce qui concerne la fabrication des rails la différence de dureté entre le fer des bandages et des rails a été l'une des causes de la rapide destruction des uns ou des autres; nous ne discutons pas, nous exposons. Toujours est-il que la facilité de faire varier la dureté d'un métal aussi répandu que le fer, sans augmenter sensiblement le prix de sa fabrication, est pour l'industrie, en général, un des plus vastes champs ouverts aux applications mécaniques. C'est à nos forges françaises que sont dus les meilleurs résultats dans les premiers essais de fabrication de ce qu'on est convenu d'appeler l'acier puddlé; il était indispensable de signaler l'importance qu'il faut attacher à la voie dans laquelle est entrée l'industrie sous ce rapport.

La part que la France a prise dans l'établissement des chemins de fer, à l'étranger, a ouvert à nos ingénieurs et à nos constructeurs une nouvelle source d'activité. Nous nous sommes tous félicités de voir le plus important de nos ateliers entreprendre, à des conditions égales à celles des ateliers étrangers, la construction de cent quatre-vingts machines locomotives destinées à l'Espagne.

La construction des ponts en métal continue à se répandre. Quelques-uns de nos ateliers, qui sont en possession de cette industrie, exécutent ces travaux avec un soin qui laisse loin derrière eux les constructeurs étrangers. Gardons bien cette conscience du travail; elle nous a déjà valu une très-notable part des constructions de ce genre, pour les chemins de fer étrangers, et elle est une garantie du développement d'une des branches les plus précieuses de notre industrie générale. Vous apprendrez sans aucun doute avec satisfaction que les matières premières de ces grands travaux sont fournies aux ateliers français par des forges françaises récemment construites et aux prix anglais.

Nous ne parlerons de la construction navale et de la télégraphie sous-marine qu'en regrettant que notre pays semble, pour le moment, déshérité de

toute part active dans les progrès de ces industries. C'est dans ces périodes de langueur qu'il serait bien désirable que le Gouvernement donnât une grande part de ses constructions à l'industrie. Plusieurs des membres de cette Société vous diront, qu'il y a quelques années, et en de semblables circonstances, la commande par l'Etat, de douze grands appareils à vapeur pour la navigation maritime a eu pour conséquence la création de trois ateliers qui, depuis, ont défié, pour la perfection de leurs produits, les ateliers étrangers.

Il est incontestable que le succès de l'immersion du câble transatlantique reste entier, malgré les conséquences fâcheuses de l'altération qui lui a ôté ses conditions d'isolement. L'immersion en elle-même est un des plus grands faits de la mécanique, autant à cause de la nouveauté du problème que de la difficulté de le soumettre au calcul. Il y a, dans les impressions que causent dans l'esprit public les très-grandes découvertes, une singulière ressemblance. C'est l'indifférence qui s'attache aux efforts qui ont précédé le succès. Si Watt, si Stephenson, n'avaient pas eu une longue existence, laborieusement employée à réaliser l'idée dont ils étaient les plus énergiques promoteurs, plus d'un siècle peut-être eût été perdu. Leur histoire est celle d'une lutte; elle aurait dû être celle d'un triomphe. L'esprit humain se défie encore de la science.

Dans cette nouvelle circonstance, c'est une association sans nom propre, composée de capitalistes, d'ingénieurs, de savants, qui fonde un art tout entier, en groupant, pour réussir, une somme de forces et d'idées nouvelles, et qui obtient en trois années un résultat auquel la vie toute entière du plus robuste des inventeurs ne suffirait pas. Félicitons le pays où de telles choses se passent, où l'industrie trouve dans l'association un ressort si puissant, si hardi et si novateur. Attendons-nous d'ailleurs que, pour ce qui importe aux progrès des notions sur l'électricité et sur les phénomènes relatifs aux courants magnétiques, ce câble, tout altéré qu'il est, aura été fort utile.

Si des câbles sous-marins nous passons à la navigation, un effort du même genre se montre dans la construction du Great Eastern. Ici, encore, un échec financier vient momentanément suspendre l'essor d'une grande idée; mais les premiers fondateurs se résignent, liquident leur perte et se remettent à l'œuvre. Que d'autres appellent le ridicule sur ces pertes d'argent, que d'autres prétendent qu'ils auraient mieux fait : mais, nous, exprimons des regrets et des sympathies : souhaitons que le succès couronne d'aussi grands, d'aussi intelligents efforts. C'est notre thèse qui se gagne, celle de la liberté d'initiative de l'industrie réalisant ce qu'aucun gouvernement n'oserait faire, et se tenant toujours en tête du progrès humain.

Cette année a vu s'agrandir la part d'intérêt et d'activité de la France dans les chemins de fer étrangers. L'étendue des lignes dans lesquelles elle est directement intéressée en Russie, en Espagne, en Italie et en Allemagne, dépasse aujourd'hui neuf mille kilomètres. L'importance du capital engagé dans ces entreprises est approximativement d'un milliard et demi en actions, et de quatre cents millions en obligations. La garantie d'intérêt des États est généralement acquise à ces capitaux.

En même temps que les hommes et les capitaux français interviennent

activement dans ces chemins de fer, l'Angleterre y devient de plus en plus étrangère. Ce n'est pas que ce pays soit engagé dans d'autres entreprises; il y a en ce moment, chez nos voisins, un ralentissement notable à cet égard. Mais, soit que la France se rapproche, par ses goûts et ses habitudes, des peuples dont les gouvernements sont, comme le sien, centralisateurs ou tendent à le devenir; qu'elle ait sous ce rapport pleine confiance dans les garanties d'intérêt; que les capitalistes anglais s'éloignent au contraire, par goût et par habitude, des affaires qu'il faut traiter plus encore avec les gouvernements qu'avec les particuliers : toujours est-il que la France a raffermi, en prenant le premier rang à cet égard, la paix Européenne, en créant sur une aussi grande échelle le cosmopolitisme des valeurs industrielles.

Nos ingénieurs se sont, dans cette mission, acquis jusqu'à ce jour l'estime universelle, par le double mérite d'une grande honorabilité et d'une forte instruction.

Nous attirerons aussi l'attention sur les progrès remarquables qu'ont faits, pendant cette année, les sociétés savantes fondées par l'industrie. Les procès-verbaux qui nous sont envoyés ou que nous apportent les journaux spéciaux, constatent le mérite des travaux présentés par leurs membres, dans les réunions périodiques, et l'importance des questions qui y sont discutées.

Nous avons toujours, et avec raison, contesté le titre de savant à ceux qui possèdent seulement la science, pour ne le réserver qu'à ceux qui, non contents de la posséder, la font avancer, c'est-à-dire se montrent supérieurs à elle. A ce titre, et tout en constatant la supériorité de la France, il est à remarquer que l'industrie produit désormais un grand nombre d'hommes dont la valeur scientifique est incontestable et qu'ils sont accueillis avec faveur par ceux de leurs confrères qui ont fait avancer la science par leurs seules méditations aidées des travaux du laboratoire. Les sociétés savantes n'ont nulle part discuté des questions plus importantes, plus immédiatement scientifiques, dans les grandes applications industrielles, que ne l'ont fait en Angleterre, cette année, les sociétés fondées pour le progrès des arts. C'est surtout dans ces discussions qu'il faut reconnaître l'habileté hardie qui éclaire incessamment la marche du travail et la libéralité avec laquelle la lumière se répand par elles. A côté des intéressants travaux de la Société des ingénieurs civils, des mécaniciens, etc., etc., signalons les réunions de l'élite des généraux, des amiraux, des constructeurs de navires et des fabricants d'armes et de marchines, membres de la Société des arts, où ont été récemment exposés les progrès de la construction du matériel naval depuis un demi-siècle; les questions d'art qui touchent le plus près à la puissance militaire y ont été exposées avec autant de simplicité que de libéralité, par des hommes savants, spéciaux et pratiques. Jamais la libre industrie n'avait reçu des hommes de guerre un plus loyal éloge, pour les progrès récents que Scott-Russell, Armstrong et Nasmyth, ont faits dans la construction des navires en métal et dans la fabrication des armes.

Ce serait esquisser incomplètement l'œuvre de l'année qui vient de finir que de ne pas parler du percement de l'isthme de Suez. Ce n'est pas qu'au

point de vue de l'art, les travaux d'étude de cette grande entreprise aient révélé une solution nouvelle des difficultés qui attendent son exécution ; mais, ce qui est bien remarquable, c'est le concours moral qui a accueilli ce projet en Europe. Ce concours équivaut à la certitude du succès. Hommes et idées ne failliront pas à une entreprise portée par tant de volontés et d'intérêts. Quels que soient les obstacles, les mécomptes, qui, dans le cours de ces gigantesques travaux, attendent les premiers pionniers, l'entreprise réussira parce que l'Europe y est désormais attachée, et que la sympathie d'aujourd'hui sera demain de l'acharnement. Ce n'est d'ailleurs pas, on a dû le dire, une croisade contre l'Orient, c'est une alliance, et le temps ne peut qu'ajouter à ses forces.

Le résumé qui précède me dispense d'entrer dans des développements sur les travaux dont vous avez été entretenus dans nos séances. Livrés à leurs occupations journalières, les membres de cette Société ne peuvent vous présenter d'autres travaux que ceux sur lesquels leur pensée est habituellement dirigée. C'est, assurément, une excellente base pour le mérite de leurs communications et nous n'avons qu'à les engager à persévérer ; mais il serait avantageux que les travaux du même genre que les nôtres qui s'effectuent à l'étranger, et dont les exposés riches en expérience et en développements nous sont adressés par les sociétés savantes, nous trouvassent plus disposés à leur donner notre attention.

Si de la situation générale nous passons à celle dont l'examen est le but spécial de la séance consacrée à l'installation de la nouvelle présidence, celle de notre Société, le choix que vous venez de faire, nous donne des gages nouveaux d'une année fructueuse en travaux et en discussions.

Notre nouveau Président, mêlé par profession aux questions de l'industrie générale et dont la carrière s'est faite dans l'enseignement, apporte à ces honorables fonctions, avec le goût qu'on lui sait pour la science, une affection et une bienveillance qui relève bien des courages et lui a créé parmi nous de nombreux amis. Nul ne pourra, plus sûrement que lui, lever sur nous cette contribution du travail qui est nécessaire pour alimenter nos séances, et qui est aussi l'un des bons moyens de s'attirer la considération publique. Il ne suffit pas que le présent apporte à la plupart de ceux qui sont engagés dans la carrière, les résultats matériels de l'habileté et du mérite, il faut, parallèlement à nos travaux, verser incessamment dans la circulation, par des écrits et par les discussions dans nos séances, les notions propres à généraliser l'application dans l'industrie des découvertes utiles qui se rencontrent directement ou indirectement dans la voie spéciale de chacun.

Il faut que dès qu'un procédé nouveau et important, aussitôt qu'une loi nouvelle, un fait nouveau dans la science, se produisent, notre Société en soit non-seulement informée, mais que l'attention soit éveillée sur leur avenir.

Le caractère d'impartialité et l'absence de parti pris qui distingue si heureusement notre nouveau Président dans la lutte sur la propriété des idées que nous voyons grandir de jour en jour, sont une garantie de bonne direction des discussions : nous voyons s'accroître tous les jours le nombre et l'impor-

tance des situations occupées dans les affaires, par les membres de cette Société, elle puise là des forces nouvelles ; il ne manque, pour les produire, que de vaincre une timidité mal entendue qui fait que le plus grand nombre d'entre nous considère comme un petit supplice d'attirer l'attention sur soi par des exposés verbaux ou des discussions.

Vos Présidents ont fait, jusqu'à ce jour, de grands efforts pour vaincre cette répugnance, j'ai l'espoir qu'aucun n'y réussira mieux que notre nouveau Président et que les débats sur les questions présentées ici, s'enrichiront de plus en plus du concours d'observations éclairées. — Je dois également faire observer, qu'occupés comme nous le sommes tous, nous ne venons aux séances qu'autant que les questions spéciales que l'ordre du jour annonce nous y attirent. Il en résulte la presque impossibilité de traiter des questions qui deviennent opportunes par la présence inattendue de membres venus momentanément à Paris ou par d'autres causes. Soyez donc assurés que plus le nombre des membres sera grand à nos séances, plus elles offriront d'intérêt.

M. le Président sortant appelle au bureau M. Faure, Président pour l'année 1859, les Vice-Présidents et les Secrétaires élus pour cette même année.

M. Faure veut, avant tout autre acte, annoncer à la Société que deux de ses membres, MM. Loustau et Nozo, viennent de recevoir la croix de la Légion d'honneur.

M. Eugène Flachat, a bien voulu lui laisser le plaisir de pouvoir inaugurer son accession à ce fauteuil par cette bonne nouvelle, pour celui qui la donne, parce qu'il professe pour MM. Loustau et Nozo une vieille amitié ; bonne pour ceux qui la reçoivent, parce qu'elle trouvera chez eux une vive sympathie.

M. Faure dit ensuite les paroles suivantes :

Messieurs,

En écoutant les battements de mon cœur, en cet instant où je prends place dans le fauteuil que vient de quitter notre digne, cher et bon Président, M. Eugène Flachat, l'un de nos maîtres à tous, Messieurs, je comprends combien est grande une différence qui m'avait trop peu frappé jusqu'ici, peut-être.

Je veux parler de celle qui existe entre l'homme qui a dû prendre place à ce bureau plusieurs fois, souvent même, à titre de délégué, et celui qui vient s'y asseoir, appelé par votre suffrage *unanime;* qu'il me soit permis de le rappeler une seule fois, en vous demandant de croire que ce rappel ne procède nullement d'un sentiment plus ou moins voisin de l'orgueil. Non, vraiment ! c'est du bonheur, rien de plus. Aussi et tout ému je ne trouverais dans mon âme qu'une seule parole à vous dire : Merci, frères ! merci, amis ! et ce verbe du cœur suffirait, s'il devait s'agir de moi seul en ce moment, parce qu'il dirait en même temps : A vous, Messieurs, à notre Société tout ce que je

pourrai trouver en moi de forces et de pensées pendant l'année qui commence à cette heure pour moi.

Mais à côté de ce besoin impérieux d'épancher le flot de gratitude qui remplit mon âme, j'ai un devoir à accomplir et je vais tâcher de m'en bien acquitter ; heureux ! si mes paroles peuvent rendre à ceux que je dois honorer en votre nom, tout ce que je sens en moi de pieuse et cordiale affection.

Donc, monsieur Flachat, laissez-moi vous remercier au nom de tous pour votre quatrième année de présidence ; laissez-moi vous redire solennellement aujourd'hui ce que j'ai été admis à dire une fois déjà, il y a une année : La Société des ingénieurs civils, à une heure, à une époque critique pour un assez grand nombre de ses membres, avait besoin de se grandir en se serrant autour de vous, en vous mettant une fois encore à la place hors ligne, dans son livre de famille. Merci à vous ! car pour fermer cette quatrième année de dévouement absolu à la Société, vous venez en ce moment même, dans une thèse éloquente et élevée en même temps que profondément juste et sagace, d'ajouter un fleuron à votre œuvre de trente années, vous l'un des plus éminents entre les créateurs de la noble profession d'ingénieur civil en France.

D'ailleurs, Messieurs, n'attendez pas de moi que je tente d'apprécier, en essayant de faire ressortir sa haute valeur, cette thèse qui vient de se dérouler en sortant de la bouche aimée de notre maître. Cette grande leçon d'économie industrielle (le mot est insuffisant, politique..., je craindrais de le dire, car là n'est pas notre domaine ; sociale !... je risque le mot tout bas, parce que je le crois plus vrai), appliquée à l'une des plus grandes questions de notre époque, il me siérait peu de la juger, car je sens mon incompétence, et je crois qu'il y aura plus de fruit pour tous à laisser germer dans nos pensées la semence des hautes idées qui viennent d'être développées.

Une seule et modeste remarque cependant, qui sera, si je ne m'abuse, un acte de justice : en énumérant les travaux de notre profession pendant l'année 1858, en montrant la voie aux vaillants dans le combat pour l'année qui commence, M. Flachat a paru regretter que les machines navales n'eussent pas fourni à quelqu'un d'entre nous l'occasion d'un progrès sérieux durant l'année qui vient de finir. Or, Messieurs, je ne sais si mon instinct m'a pu égarer, mais, pour sûr, il me disait il a peu de jours, pendant que j'examinais un grand apareil nouveau, une machine navale due à des membres de notre Société et aujourd'hui en voie d'expérimentation : Ceci est une chose d'avenir, de très-grand avenir !

Cela dit, je veux indiquer, telle que je l'ai comprise, Messieurs, la signification du vote qui m'a appelé à ce fauteuil pour l'année 1859, en comparant ce vote à ceux des années précédentes.

Aux premiers jours, vous avez mis à cette place M. Callon, comme l'expression première et équitable de la pensée qui fonda cette Société, pensée qu'il peut-être bon de rappeler avec la coulenr du temps. C'était en mars 1848, au lendemain de la grande commotion qui semblait devoir engloutir l'industrie et ses pauvres soldats !...

A cette heure d'écroulement (qui donc aurait pu prévoir alors les splendeurs de l'avenir et cette grande période de fécondation industrielle comprise

entre 1850 et 1857), à cette heure, dis-je, il advint qu'au moment où tous allaient sur la place publique, interroger l'avenir sur les visages animés par les émotions du présent, cinq d'entre nous se rencontrèrent un jour; ils s'appelaient : Callon, Thomas, Laurens, Alcan et Faure (vous me laisserez dire ici mon nom, puisqu'il s'agit de notre histoire). L'un d'eux, ce fut M. Laurens, si je me souviens bien, dit aux autres : L'heure propice semble venue pour fonder ce qui a été plusieurs fois déjà et vainement tenté, pour réaliser enfin une association amicale entre les anciens élèves de l'École centrale. Surexcités par la fièvre de ce temps, nous nous mîmes à l'œuvre; vous fûtes conviés et, sous la présidence de M. Callon, sur un rapport motivé, dit par celui qui vous parle en ce moment, la Société des ingénieurs civils fut constituée.

Puis et bientôt quelques-uns d'entre nous dirent à tous, à nous surtout, ouvriers de la première heure : Amis, votre idée n'est pas large assez; il la faut faire plus belle, plus grande, plus forte surtout. Il ne s'agit pas seulement de constituer le corps des ingénieurs de l'École centrale, mais bien de grouper en faisceau tous les hommes qui auront consacré leur vie à l'étude et au développement des choses industrielles, tous ceux qui auront mérité le nom d'*Ingénieurs libres*, d'ingénieurs civils, pour parler aujourd'hui encore le langage accepté déjà à l'époque que je rappelle.

Je veux être vrai, Messieurs, parce que, selon moi, il y a du mérite toujours à confesser sincèrement et hautement *une erreur;* les auteurs du projet en train de prendre corps furent peu ardents d'abord à l'endroit de cet élargissement de la création qu'ils avaient enfin réalisée. Si bien qu'une lutte s'engagea, amicale, sans doute, mais animée, très-animée; la victoire resta aux propagateurs de l'idée d'élargissement du cadre, et les vaincus, croyez-en celui qui vous parle, s'applaudirent bientôt de leur défaite. C'est qu'en effet, Messieurs, M. Flachat avait été élu Président, et ceux qui alors n'avaient pas l'honneur de le connaître, qui n'avaient pu encore apprécier ce bon cœur, cette belle intelligence, cet esprit ardent à se lancer dans les voies nouvelles, cet œil avide des horizons grands et nouveaux, comprirent vite que le salut et le gage de l'avenir de la Société résidaient dans le choix de ce chef des premiers temps.

L'année suivante, vous appeliez au fauteuil M. Petiet, parce que vous aviez besoin encore de vous honorer, de vous grandir en prenant pour chef un homme à l'esprit net et prompt entre tous, au caractère énergique, arrivé haut et vite parce qu'il sait à la fois valoir, vouloir, pouvoir et faire.

M. Vuigner après; un symbole encore, celui-là, Messieurs! Soldat obscur d'abord, officier bientôt, général après dans la grande armée des travailleurs en chemins de fer, ayant conquis ses grades à la pointe des labeurs d'une haute et active intelligence.

Puis M. Perdonnet, au cœur chaud, haut placé encore et par ses mérites, par ses travaux dans l'ère des grandes créations de voies ferrées, ayant conquis sa position éminente par de grands services rendus. Donc un symbole aussi, mais encore, disons-le, choisi par nous, parce que parmi nous, tous à peu près étaient ses débiteurs en affection, car beaucoup entre nous

furent ses élèves et le trouvèrent toujours dévoué, ardent toujours quand il fallait aider de jeunes et laborieux combattants à gravir quelques échelons.

M. Mony ensuite, et ce choix fut un hommage bien senti adressé à l'un des esprits les plus distingués dont se puisse honorer le corps des ingénieurs civils, à l'un des chefs de son aristocratie jeune encore, à l'un de ceux qui, les premiers, avaient porté haut et ferme notre drapeau.

Puis en choisissant M. Polonceau, vous disiez : La Société entend s'honorer par ce choix, parce qu'elle est fière de pouvoir dire à tous : Il est des nôtres celui-là qui, en peu d'années, a su devenir un ingénieur éminent, un constructeur remarquable, en même temps que le chef habile et ferme, l'administrateur actif et profondément intelligent d'une des plus grandes exploitations de la mécanique active, d'un immense matériel roulant de nos voies ferrées.

Après avoir ainsi mis en haut ces *étoiles*, pour que leurs rayons lumineux vinssent éclairer un groupe de plus en plus compacte, vous avez dit : Il est temps d'indiquer que le cercle de nos symboles peut être fermé, et rejoignant les deux bouts de l'anneau constellé, vous avez rappelé M. Callon à ce fauteuil.

Cet acte fut juste en même temps qu'habile, car il se trouvait qu'en honorant l'ingénieur remarquable qui a su gagner un beau renom par des labeurs voués à des industries spéciales et diverses, par des travaux en hydraulique très-nombreux et très-appréciés, vous donniez à vos discussions un promoteur actif, à la conduite de vos séances un guide à l'esprit logique, droit et sûr, dont la valeur intellectuelle et pratique s'est élevée en s'exerçant à des sujets très-divers, un Président sympathique à tous sans être le supérieur ou le général de tel ou tel autre groupe entre nous.

L'anneau symbolique ainsi soudé, j'ai dit déjà qu'une nécessité de cœur et d'honneur nous avait conduits à réélire une fois encore M. *Eugène Flachat*, sans troubler la signification propre du cycle d'étoiles que j'ai indiqué.

Puis à la onzième heure, c'était l'autre jour, l'œil fixé sur cette couronne étoilée de notre drapeau, vous avez pensé que le moment était venu, non pas de chercher une étoile nouvelle... en trouver d'autres parmi vous, c'était chose facile! je le pense, je le dis parce que je les vois, parce que je les compte ici en promenant mes regards sur ceux qui m'entourent; mais d'exprimer clairement par un vote une pensée exacte, un fait accompli dont voici l'expression, si je ne me trompe. La valeur de notre Société est fixée maintenant, sa cote morale est bien déterminée à cette heure par un passé de dix années déjà, par le nom des chefs durant les dix années, par la valeur du Président d'hier; donc il peut être bon et utile de donner un enseignement profitable en même temps qu'une légende à notre cycle d'étoiles, et cette légende sera :

Aimons-nous les uns les autres.

Et vous avez pris celui qui vous aime, que vous aimez, n'est-ce pas? sans trop vouloir peser sa valeur absolue; et vous avez voulu lui dire en le choisissant :

Conduis-nous de ton mieux durant une année, afin qu'il soit dit et entendu que nous nous sentons vigoureux assez pour songer aux dettes de cœur.

Voilà, Messieurs, comment et pourquoi je suis venu à cette place par vos suffrages, comment et pourquoi je devrai être trois fois heureux si j'arrive à l'occuper à peu près bien.

En vérité, j'ai bon espoir d'y réussir, parce que j'ai fait mon apprentissage, en conscience, grâce à vous, grâce à un homme au cœur d'or, M. Degousée; il me permettra de me souvenir toujours qu'en décembre 1854, sans que je fusse prévenu, il vous proposa de m'appeler à ce bureau où je m'assieds depuis quatre ans déjà, comme l'un de vos Vice-Présidents.

Ne croyez pas que je veuille, par ce rappel, étaler un peu d'orgueil, bien que j'en aie au cœur cependant et à cause de cela même. Non, j'ai un but qui peut être plus utile, si je ne me trompe, car j'en veux tirer un enseignement pour tous.

Croyez-en celui qui vous parle, Messieurs; il y a un bonheur grand, une fierté sainte à pouvoir se dire : Je mourrai ingénieur, après avoir été élu Président de la Société des ingénieurs. Eh bien! pour arriver à ce but honorable, élevé, lorsqu'on voit autour de soi et en grand nombre de plus dignes qui auront leur tour, je vais vous dire une recette toute simple, toute naïve.

Il n'est pas absolument besoin d'avoir brillé à la tête de quelques grandes affaires, de quelques grands travaux; on peut être venu au monde honnête et modeste ingénieur civil tout bonnement et être resté cela soit par une sorte d'apathie naturelle, blâmable si vous voulez, soit parce que l'on aura craint les démarches où il faut trop payer de sa personne en en donnant soi-même une cote plus ou moins réelle, soit parce que l'on a eu une peur plus ou moins exagérée à l'endroit des refus possibles. Resté à l'ombre, dans son coin, sans bruit aucun, s'occupant toujours des travaux de sa profession tous modestes, peu éclatants, mais tous utiles cependant, on se sera tenu néanmoins à l'affût des choses remarquables accomplies par ses camarades, ses amis, ses grands chefs. Puis on aura consacré plus de vingt années de sa vie modestement occupée, à enseigner notamment quelques pages de la bibliothèque de sa profession. Enfin et au jour où s'est trouvé fondé le centre de réunion des hommes de cette profession, de mise en commun des idées, des travaux de tous, on aura compris, à un jour donné, celui où vos pairs vous auront élu membre du comité, du bureau, qu'il y avait lieu de se dire : Allons! Voilà un peu de noblesse conquise, souvenons-nous que noblesse oblige, si petite qu'elle soit. Donc assistons fidèlement, scrupuleusement aux réunions. Il y a du charme, il y a du bonheur là, parce que c'est une noble récréation durant laquelle l'esprit se tient éveillé, parce qu'on y recueille des étincelles, qu'on s'en illumine parfois et plus ou moins et qu'à force d'avoir profité à cet *enseignement mutuel,* on a pu parfois, de loin en loin, faire profiter les autres à son tour.

Alors on arrive bien vite à aimer de tout son cœur ceux que l'on voit, que l'on suit, que l'on écoute; alors aussi ils vous aiment et un jour ils vous le prouveront en vous honorant bien au delà de vos mérites.

Vous comprenez ce petit apologue, Messieurs; car c'est ma vie que je

viens de vous raconter, et la place d'où je vous parle c'est mon trône d'un jour, bon et cher petit trône que vous m'avez donné, dont je vous remercie avec des larmes dans le cœur. Ainsi et si cette chétive histoire d'un bon camarade vous a pu faire songer sans vous ennuyer, vous en saurez trouver la morale et vous viendrez aux séances; vous y *resterez* d'abord, vous y apporterez du travail ensuite.

Ainsi soit-il! Et alors votre Président tout neuf, avec ses bons Vice-Présidents (deux de nos étoiles premières, de celles que j'ai signalées, deux étoiles à venir), avec quatre Secrétaires qu'il aime, qu'il a un peu contribué à choisir peut-être, avec un comité dont tous les membres lui sont chers, parce qu'il sait la valeur propre et grande de chacun, pourra espérer de bons résultats, et nous tâcherons ensemble de faire un peu de bonne besogne, afin que, l'année prochaine, à pareille heure, mon successeur nous puisse dire : Merci, vous avez bien agi. Ce faisant, nous nous rappellerons certain règlement que l'on dit, avec raison peut-être, un peu oublié et nous présiderons sans trop discuter, bien que la langue nous soit trop vive parfois, trop remuante, n'est-ce pas? et à la fin de la carrière d'une année, je rentrerai au milieu de vous, dans mon coin obscur, heureux et content si vous avez à me décerner un bon et cordial *satisfecit*.

Donc, Messieurs, à vous mon dévouement, à moi votre bon, amical et laborieux concours. J'y compte et je vous prie de compter sur moi, car je vous le dis en vérité :

Vous aurez beaucoup de meilleurs Présidents, mais vous n'en trouverez jamais de plus sincèrement dévoué, de plus désireux de bien faire.

SÉANCE DU 21 JANVIER 1859

Présidence de M. FAURE

M. LE PRÉSIDENT exprime un regret touchant la distribution trop tardive du procès-verbal de la séance du 7 janvier. A cette occasion, il croit devoir regretter encore que l'ordre du jour ait été chargé outre mesure par l'annonce de communications qui ne pourront être faites aujourd'hui. La distribution en temps utile du procès-verbal, et la vérité dans l'énoncé des matières qui devront faire l'objet des discussions dans chacune de nos séances, semblent être une nécessité absolue, et le Président fera tout ce qui sera en lui pour la satisfaire durant l'année qui commence.

L'ordre du jour appelle une communication de M. Vuigner sur les travaux de fondation du pont du Rhin entre Strasbourg et Kehl.

Les bases principales de l'établissement d'un pont sur le Rhin à Kehl ont été déterminées par un traité international conclu entre les gouvernements

Français et Badois. Elles avaient été fixées dès le mois de septembre 1857, dans une conférence entre les délégués des deux gouvernements, conférence à laquelle la Compagnie des chemins de fer de l'Est n'avait pris part qu'officieusement.

L'art. 3 du traité international porte ce qui suit : « Ce pont sera construit à 100 mètres environ en aval du pont de bateaux;

Il aura deux voies; et portera, de chaque côté, des passerelles pour piétons de $1^m.50$ de largeur;

La longueur entre les culées sera de 225 mètres;

Le pont se composera d'une partie fixe, au milieu de deux travées mobiles aux extrémités, devant les culées de chaque rive;

La partie fixe sera un pont à treillis en fer, et formera trois travées égales, chacune de $56^m.00$, dont le tablier sera supporté par trois poutres;

Les deux piles du milieu seront composées de tubes en fonte, et les deux piles extrêmes, servant en même temps de support pour les travées mobiles, seront construites en maçonnerie;

Les travées mobiles, formées de poutres en tôle pleine, seront des ponts tournants, dont le pivot et le mécanisme nécessaire à la manœuvre reposeront sur les culées en maçonnerie;

La largeur de chacune des passes navigables sous les travées mobiles sera de $26^m.00$; la volée du pont aura $30^m.00$; et, comme la culée sera égale à la volée, les poutres auront $60^m.00$ de longueur;

Chaque pile intermédiaire des travées fixes sera composée de trois tubes en fonte de $3^m.00$ de diamètre, ce qui suppose pour ces piles une largeur de $3^m.00$ et une longueur de $12^m.00$ environ;

Les deux piles extérieures en maçonnerie auront une épaisseur de $4^m.50$ et une longueur de $21^m.00$ chacune environ;

Les épaisseurs des piles ainsi que les ouvertures libres du pont seront mesurées au-dessous des corniches des piles ou culées;

Les tubes en fonte, pieux en chêne, etc., pour les fondations des piles, descendront au moins à $15^m.00$, et, pour celles des culées, au moins à $12^m.00$ au-dessous des plus basses eaux connues;

La maçonnerie de parement des piles et culées prendra naissance à $2^m.00$ au moins au-dessous des plus basses eaux;

Les fondations des piles intermédiaires en fonte seront protégées par des brise-glaces en chêne, placés à distance convenable en amont;

Nous avons dit que la Compagnie n'était intervenue qu'officieusement dans la fixation des bases principales ci-dessus. Mais, aux termes de l'art. 5 du traité international, le mode et les moyens d'exécution des travaux ont été déterminés par une convention particulière entre l'administration des travaux publics badoise et la Compagnie des chemins de fer de l'Est.

Il a été stipulé, dans cette convention que la Compagnie des chemins de fer de l'Est se chargerait de l'exécution des fondations et de la maçonnerie des piles et culées; et que, par contre, l'administration du Grand-Duché se chargerait de l'exécution de toute la superstructure en fer des deux ponts tournants ainsi que de celle de la partie fixe du pont; que

MM. les ingénieurs des deux administrations qui auraient à s'occuper plus spécialement des projets des travaux dont elles sont chargées devraient s'entendre toutefois sur ces projets de détails comme sur les dispositions d'ensemble du pont; que les projets d'ensemble et de détail seraient soumis à l'approbation des deux administrations contractantes, pour être arrêtés définitivement par leurs gouvernements respectifs; et qu'enfin chacune des deux administrations serait libre, dans l'exécution de la partie du pont qui lui est dévolue, de faire usage des moyens d'exécution qui lui conviendront.

Les projets d'ensemble et de détail dressés conformément à ces prescriptions ont été approuvés par les administrations supérieures des gouvernements français et badois, sur l'avis conforme des conseils généraux des ponts et chaussées de chacun des deux pays.

Après cet exposé, M. Vuigner décrit le système de fondation des piles et des culées admis définitivement et qui a reçu la sanction des administrations compétentes française et badoise.

En discutant la question relative aux fondations des piles intermédiaires, l'emploi des tubes en fonte de 3m.00 de diamètre a paru présenter des inconvénients très-graves.

Et, d'abord, il a été reconnu unanimement que les piles intermédiaires composées de tubes en fonte auraient un aspect disgracieux comparativement aux piles extrêmes construites en maçonnerie et présentant une largeur de 4m.50 avec couronnement et corniches en pierre de taille; et qu'il y aurait beaucoup plus d'harmonie si les piles intermédiaires étaient construites en élévation dans le même système que les piles extrêmes.

Comme question de fondation, le système tubulaire ne laissait pas, d'un autre côté, de présenter, dans l'espèce, des difficultés sérieuses, et surtout d'entraîner dans une perte de temps considérable.

Les ingénieurs qui se sont occupés des fondations tubulaires savent, en effet, combien il y a de difficultés à enfoncer des tubes en fonte de 3m.00 de diamètre, difficultés qui augmentent dans des proportions notables selon la nature des terrains à traverser.

Il arrive parfois que, quels que soient les poids additionnels dont on les charge, et bien que leur surface extérieure soit parfaitement lisse, les tubes s'enfoncent à peine, par suite de la pression exercée sur leurs parois par les terrains traversés, et des frottements qui en sont la conséquence.

Dans ces circonstances même, un enfoncement subit de plus de 1m.00 d'ampleur succède quelquefois à un *statu quo* opiniâtre pendant un certain laps de temps.

Ces effets de résistance sur les parois extérieures se produisent même alors que l'air comprimé, passant au-dessous des bords inférieurs des tubes, et devant glisser sur les parois extérieures, semblerait devoir déterminer une diminution notable dans la pression exercée par les terrains traversés.

Souvent aussi il arrive que des tubes ont inopinément des mouvements de soulèvement de plus de 2m.00 de hauteur, ou qu'en opérant l'enfoncement d'un tube on dérange ceux déjà en place.

Si ces difficultés et ces inconvénients ont eu lieu lorsqu'il s'agissait d'enfoncer des tubes à une profondeur de 10 à 12 mètres, *à fortiori* en aurait-il été pour les piles intermédiaires du pont du Rhin, dont les fondations doivent descendre à une profondeur de 15 à 20 mètres.

D'un autre côté, dans le système de fondation tubulaire, les tubes d'une pile ne peuvent être enfoncés que successivement; et, comme il n'y a, pour chaque tube, qu'une cheminée à air avec une écluse qu'il faut manœuvrer chaque fois qu'on doit opérer un passage d'ouvriers ou de matériaux de déblais, ou qu'il faut déranger au fur et à mesure de l'addition d'anneaux ou cheminées, il en résulte une perte de temps considérable.

Dans l'espèce, et avec l'emploi du système tubulaire, il eût fallu plus de deux campagnes pour exécuter les fondations du pont, si l'on considère surtout que le régime à maintenir dans les eaux du Rhin n'aurait pas permis de travailler à plusieurs piles en même temps, observation qui résulte d'ailleurs des conventions particulières arrêtées avec le gouvernement Badois.

Ces considérations ont fait rechercher si l'on ne pourrait pas employer un autre système plus simple, plus économique, et exigeant moins de temps dans l'exécution.

On avait eu d'abord la pensée d'employer pour chaque pile un caisson en tôle, fermé sur les parois latérales et à la surface supérieure, garni d'une grande cheminée de service et de deux cheminées à air, et de faire exécuter les maçonneries au-dessus de ce caisson, au fur et à mesure qu'il s'enfoncerait, en déblayant le sol au-dessous, et en enlevant les produits de ces déblais au moyen de bennes, manœuvrant dans la grande cheminée de service.

Mais il fut reconnu que l'emploi d'un seul caisson présenterait des difficultés telles, qu'on ne pourrait être assuré de mener l'exécution à bonne fin.

Il n'eût été guère possible, en effet, de manœuvrer un caisson présentant une surface de plus de 60^{m} carrés; de manière que son enfoncement fût régulier, soit dans le sens longitudinal, soit dans le sens transversal, et il eût été à craindre qu'une irrégularité un peu forte ne déterminât le renversement de la maçonnerie. Nous ne parlons pas de la nécessité où l'on aurait été de donner aux parties constituantes de ce caisson des dimensions considérables, pour pouvoir supporter les maçonneries d'une pile jusqu'au moment où, descendu à profondeur, on aurait pu le remplir lui-même de maçonnerie.

Après de nouvelles discussions sur ces diverses questions, il fut entendu qu'on emploierait, pour les fondations de chacune des piles intermédiaires, trois caissons en tôle de $5^{m}.50$ de largeur, $5^{m}.50$ de longueur et $3^{m}.60$ de hauteur, juxta-posés.

La question de fondation des piles intermédiaires étant ainsi résolue, quant à la présentation des projets, il fallait aussi arriver à une solution relativement aux fondations des piles extrêmes.

Nous avons indiqué déjà que les piles culées devaient avoir, au-dessous des corniches, une longueur de 21 mètres et une largeur de $4^{m}.50$, ce qui supposait aux fondations, eu égard aux empattements nécessaires, une longueur de $23^{m}.50$ et une largeur de 7 mètres.

Dans le traité international, il n'y avait aucune prescription pour les fondations de ces piles, et on pouvait en déduire que les fondations seraient tolérées sur pilotis en chêne.

Mais, en se rendant compte de la nature du sol dans le lit du Rhin, où les sondages constatent une épaisseur indéfinie de gravier, on reconnut la difficulté qu'il y aurait a donner aux pieux une fiche minima de 15^m, et au besoin une profondeur plus considérable comme on serait obligé de le faire pour la pile culée de la rive badoise ; l'expérience a constaté en effet qu'on ne pouvait pas donner aux pieux du pont de service sans les briser des fiches de plus de 10^m.

Il était difficile d'admettre le système des draguages à une grande profondeur, parce qu'avec les graviers roulants du Rhin, les fouilles auraient pu être comblées à la moindre crue.

Si le système de fondation tubulaire a été jugé non admissible pour les piles intermédiaires, *à fortiori* devait il en être ainsi pour les piles culées, puisque pour chacune de ces piles il eût fallu employer dix tubes de 3 mèt. de diamètre.

On a pensé que, dans cette situation, ce qu'il y avait de plus prudent à faire, c'était d'employer le même système que pour les fondations des piles intermédiaires, et il a été entendu que, pour les piles culées, on emploierait quatre caissons juxta-posés de 7 mètres de largeur, $5^m.80$ de longueur et $3^m.60$ de hauteur.

Dans ce système, chaque caisson en tôle des piles culées et des piles intermédiaires doit être garni d'une grande cheminée à air libre descendant jusqu'au niveau des bords inférieurs, et qui sera constamment pleine d'eau ; et de deux cheminées à air comprimé avec écluse à l'extrémité supérieure, pour qu'une de ces cheminées puisse toujours fonctionner et éviter ainsi toute perte de temps.

Les caissons de fondation d'une même pile doivent être enfoncés en même temps et aussi régulièrement que possible.

Chaque caisson, au fur et à mesure de son enfoncement, doit être surmonté de châssis en bois disposés par panneaux de 1 mètre de hauteur. Ces châssis devront être fermés avec des madriers en sapin à l'extérieur, et rester ouverts sur les côtés en contact.

Voyons comment, dans ce nouveau système, on peut éviter les inconvénients signalés plus haut du système de fondation tubulaire.

Il est évident, d'abord, qu'avec le système nouveau, on n'a pas à craindre le soulèvement des caissons, et qu'il n'y a pas à craindre non plus qu'en enfonçant un caisson on vienne déranger un caisson déjà placé, puisque les caissons de fondation d'une même pile sont enfoncés à la fois.

Toute la question doit évidemment se réduire, dans le système nouveau, à ce que les caissons s'enfoncent progressivement, et que les caissons d'une même pile descendent avec uniformité. Mais les difficultés sont ici beaucoup plus considérables que dans le système de fondation tubulaire.

Si les frottements contre les parois extérieures d'un tube de 3 mètres de diamètre, présentant un développement de $9^m.42$ par mètre de hauteur, rendent difficile l'enfoncement des tubes, *à fortiori*, devra-t-il en être ainsi

pour un caisson dont le développement est de 25m.60. Les caissons en bois étant remplis d'eau, la compression sur leurs parois sera bien diminuée, il est vrai, mais elle sera encore très-forte.

Après épuisement, et lorsque les caissons seraient arrivés à la profondeur voulue, on serait certain qu'il ne pourrait plus y avoir de disjonction aucune dans ces maçonneries.

Cette disposition d'exécution exige naturellement que les châssis en bois soient fermés des quatre côtés jusqu'en contrehaut du bétonnage.

D'un autre côté, il est évident que les chassis en bois devaient présenter à l'extérieur plus de résistance à l'enfoncement des caissons, que la surface lisse des tubes en fonte dans les fondations tubulaires. Les madriers laissés à nu, auraient pu ainsi être déchirés par des roches perdues, par des souches d'arbres ou autres objets. Force a été, en conséquence, de revêtir leurs parois extérieures en tôle ordinaire de 0m.003 d'épaisseur, disposition qui sera du reste favorable au moment des épuisements.

On avait supposé, enfin, qu'on enlèverait dans des bennes ordinaires les produits des déblais faits par les ouvriers travaillant dans les caissons; mais on a pensé qu'il serait beaucoup plus rationnel et en même temps plus économique, d'installer dans les cheminées un service de norias, dans les godets desquelles les hommes n'auraient qu'à pousser le produit des déblais.

En résumé les dispositions définitivement adoptées pour les fondations de la pile-culée vers la rive française, travail qui va commencer incessamment, sont les suivantes :

On emploiera quatre caissons en tôle, ayant chacun 5m.80 de longueur, 7m.00 de largeur et 3m.60 de hauteur.

Chaque caisson sera muni d'une grande cheminée de service de 1m.50 de diamètre descendant jusqu'au fond et de deux cheminées à air de 1m.00 de diamètre partant de la paroi supérieure et disposées toutes pour pouvoir être enlevées après l'opération.

Des norias seront installées dans chaque cheminée de service.

Une écluse à air sera établie à l'extrémité supérieure de chacune des autres cheminées.

Au fur et à mesure de leur enfoncement, les caissons en tôle seront surmontés de châssis en bois établis par panneaux de 1m.00 de hauteur fermés des quatre côtés par des madriers en sapin revêtus à l'extérieur de feuilles de tôle de 0m.003 d'épaisseur.

On coulera du béton au-dessus des caissons en tôle et dans l'intérieur des châssis en bois, pour vaincre la résistance à l'enfoncement en protégeant suffisamment les cheminées pour ne pas apporter obstacle à leur enlèvement.

Lorsqu'on aura coulé du béton à une hauteur suffisante pour n'avoir plus à craindre l'effet de la sous-pression, on épuisera l'eau contenue dans les châssis et on exécutera à sec une maçonnerie en bourdage ordinaire.

Les hommes qui travailleront dans l'intérieur des caissons jusqu'à leur entier enfoncement n'auront, pour ainsi dire, qu'à pousser dans les godets des norias les graviers qu'ils déblaieront successivement.

Ces ouvriers travailleront jour et nuit, en se relayant de trois heures en trois heures.

Ils se serviront, pour descendre et remonter, de l'une des cheminées à air, dont les écluses ne seront manœuvrées que pour cette opération ; et ainsi successivement, de sorte qu'il ne pourra y avoir aucune interruption dans le travail.

Lorsque les caissons seront descendus à la profondeur voulue, des ouvriers les rempliront en maçonnerie en se retirant; on enlèvera ensuite les cheminées de service et les cheminées à air, et on coulera du béton pour remplir les vides qu'elles auront laissés. Pendant l'opération, les machines soufflantes manœuvreront avec leur machine à vapeur pour comprimer l'air dans les caissons, de manière à y maintenir l'eau à un niveau déterminé et assez abaissé pour permettre le travail de déblai dans l'intérieur des caissons ; d'autres machines à vapeur feront marcher les norias.

M. Vuigner donne ensuite, sur l'état d'avancement des travaux, des détails qui peuvent se résumer comme suit :

Le pont de service est terminé jusqu'au delà de la première pile culée du côté de la rive française. Les vannages et échafaudages tubulaires pour cette pile sont terminés.

Le battage des pieux pour l'enceinte de la pile culée sur la rive badoise et pour le pont de service entre cette pile et la rive peut être considéré comme achevé maintenant.

On continue le battage des pieux pour compléter le pont de service entre les deux piles culées. Quatre sonnettes, mises en mouvement par une machine à vapeur, fonctionnent pour cette opération.

Les quatre machines soufflantes nécessaires pour comprimer l'air dans les caissons sont déjà montées sur des bateaux ou sur des échafaudages, et on s'occupe du montage des machines à vapeur nécessaires pour faire fonctionner les norias.

Trois caissons pour la pile culée de la rive française sont déjà montés à pied d'œuvre, et ils sont pour ainsi dire suspendus au-dessus de l'eau pour les faire descendre dans leur emplacement définitif aussitôt que le quatrième caisson sera approvisionné. Toutes les tôles nécessaires pour ce dernier caisson sont déjà assemblées sur les lieux, et son montage complet ne tardera pas à être terminé.

D'après l'état d'avancement des travaux, il est hors de doute qu'à la fin du mois, ou dans les premiers jours de février au plus tard, on fera échouer les quatre caissons de la pile culée de la rive française, et qu'on commencera immédiatement après à les faire descendre en opérant des déblais dans l'intérieur après y avoir comprimé l'air pour refouler, jusqu'au niveau voulu pour le travail dans l'intérieur, l'eau qui y sera contenue.

M. Vuigner espère rendre compte, dans une des séances du mois de février, du résultat de l'opération qui, si elle réussit, sera décisive pour les fondations des trois autres piles.

Pour la pile culée de la rive badoise, on n'aura, en effet, qu'à opérer comme on l'aura fait pour la pile culée de la rive française ; et, pour les

piles intermédiaires, l'opération sera beaucoup plus simple, puisqu'on n'aura besoin que de deux caissons par pile, au lieu de quatre, en les prenant de mêmes dimensions que ceux des piles culées.

Un Membre demande quelles sont les dispositions qu'on se propose d'employer pour guider les caissons; il pense qu'il sera difficile de maintenir, pendant l'enfoncement, leurs positions relatives.

M. Vuigner indique que l'enceinte de la pile donnera le moyen de diriger le système; en outre, les châssis en bois pourront être munis d'oreilles qui serviront, au besoin, à les réunir. Il rappelle que les massifs de bétonnage à élever sur les caissons doivent rester indépendants jusqu'au moment où l'on n'aura plus à craindre les effets de la sous-pression, que les mouvements relatifs des caissons ne pourront avoir aucune influence sur ces massifs, et, qu'en admettant des déviations de $0^{m}.15$ à $0^{m}.20$, elles n'auraient aucune espèce d'inconvénients, parce qu'après le bétonnage on pourra enlever toutes les parois inférieures des châssis en bois, et établir un seul massif d'ensemble sur toute la surface de la pile, et que les empâtements indiqués sont suffisants pour ne pas craindre des déviations qui se produisent dans des limites plus étendues.

Un autre Membre demande à quelle pression marcheront les machines soufflantes?

M. Vuigner ajoute que dans un cas où l'on avait à descendre des tubes à 18 mètres, on a comprimé l'air sous deux atmosphères à deux atmosphères et quart; il n'y a aucun motif de supposer que cette pression doit être dépassée pour le pont du Rhin.

Relativement au système des écluses à air, ordinairement employées dans les fondations tubulaires, M. Vuigner fait remarquer les inconvénients qui résultent de la nécessité où l'on est de manœuvrer l'écluse pour la sortie des déblais et d'interrompre le travail pendant l'allongement du tube à air. Les pertes de temps qui en résultent donnent lieu à des dépenses stériles très-considérables, c'est ce qui a déterminé à ajouter aux caissons du pont du Rhin, des tubes à air libre avec norias; les ouvriers n'auront qu'à pousser dans les godets de ces norias les déblais composés uniquement de gravier. En outre, l'emploi du double système de tubes à air et d'écluses permettra d'éviter toute interruption dans le travail de fonçage des caissons.

M. le Président adresse à M. Vuigner les plus vifs remercîments pour cette communication, dont l'importance et l'intérêt considérables seraient constatés, au besoin, par les témoignages de satisfaction qui ont accueilli les dernières paroles de M. Vuigner. Le Président croit devoir rappeler que la Société a pris déjà une belle part au système des fondations tubulaires à l'air comprimé, dès l'origine de cette féconde innovation; il voit donc pour elle une juste satisfaction et un motif de gloire peut-être à pouvoir relier par le souvenir une importante communication antérieure avec celle qui vient d'exposer si lucidement et d'une manière si complète d'heureuses et importantes modifications propres au système conçu et étudié sous l'inspiration et sous la direction immédiate de M. Vuigner.

La Société attendra, avec une vive sollicitude et un espoir sympathique,

les nouvelles que M. Vuigner veut bien lui promettre touchant la marche ultérieure des belles opérations en train de s'accomplir sur le Rhin.

M. Ch. Laurent lit ensuite une note relative à un nouveau procédé imaginé par M. T. Guibal, membre de la Société, et appliqué au charbonnage de Saint-Vaast pour le fonçage d'une avaleresse dans des sables mouvants et les terrains ébouleux.

Après avoir exposé l'historique des procédés de fonçage de puits pour forage à grande section et s'être prononcé contre ce système pour des motifs qu'il avait indiqués dès 1853 dans une notice sur le sondage à la corde, M. Laurent cite l'échec éprouvé, en 1848, au forage de Styring-lès-Forbach. Il pense que les eaux qui ont fait irruption à la base du cuvelage en soulevant la couche inférieure du béton, provenaient non pas du terrain, houiller, comme l'indique l'auteur d'une notice publiée dans un bulletin de la Société d'encouragement de 1856, mais de l'intérieur même du cuvelage où le bétonnage, par des causes inévitables que M. Laurent indique, devait être nécessairement imparfait.

M. Laurent ne partage donc pas l'avis exprimé par l'auteur de cette notice relativement aux avantages du système de M. Kind.

Abordant l'exposé du nouveau procédé qui fait l'objet de sa communication, M. Laurent indique que ce procédé fut proposé en 1856 par M. Guibal à la Société des charbonnages de Saint-Vaast, concurremment à un projet de M. Marc Parmentier à l'examen d'une commission spéciale.

Ces deux projets avaient pour but la continuation à travers les sables de la fosse de Bonne-Espérance, appartenant à la Société de Saint-Vaast. Ce puits avait atteint par les procédés ordinaires la profondeur de 72m.84, et avait rencontré les couches argileuses, bases des niveaux supérieurs qu'il la traversés. Il est muraillé sur une hauteur de 19m 80 à partir de la surface. Le reste est revêtu d'un cuvelage octogonal régulier, dont le cercle inscrit a pour diamètre 2m.50 et qui repose sur deux forts siéges superposés établis à la profondeur de 70m.14. Il restait au delà de cette profondeur une partie de 2 mètres de hauteur sur laquelle la paroi n'exigeait aucun revêtement. On était parvenu à cette profondeur au moyen d'une machine d'épuisement de quatre-vingts chevaux, faisant mouvoir deux pompes étagées de 0m.36 de diamètre, et d'une autre machine d'extraction de dix à douze chevaux. Des sondages antérieurs avaient fait reconnaître qu'au-dessous de cette profondeur de 72m.84 on aurait à traverser pour atteindre, le terrain houiller, 9m.30 de terrain argileux et 24m.75 de sables mouvants, qui avaient présenté pendant le sondage un phénomème remarquable, celui de l'absorption instantanée de l'eau contenue dans les tubes du sondage, à la suite de laquelle les sables montaient dans le trou de sonde à des hauteurs considérables.

Telles étaient les données du problème pour lequel M. Guibal a proposé et appliqué une solution nouvelle et ingénieuse, dont le succès paraît assuré à cette heure.

Après avoir indiqué sommairement en quoi consistaient les deux projets sur lesquels la commission avait à statuer et développé les motifs qui firent

donner la préférence à celui de M. Guibal, M. Laurent entre dans le détail de la disposition et du système qui a prévalu.

Ce système est essentiellement fondé sur l'emploi d'un tube partiel destiné à pénétrer dans le terrain, soit à la suite de l'excavation, soit, s'il se peut, en la précédant et qui doit laisser derrière lui un revêtement définitif immobile dont il ne doit servir qu'à faciliter l'exécution.

Pour comprendre ce principe dans son abstraction, il faut se figurer un cylindre de quelques mètres de hauteur seulement, introduit dans le sable, et que dans l'intérieur de ce cylindre s'exécute une construction protégée d'abord contre l'action du sable environnant par le cylindre même.

Les choses étant ainsi établies, il faut imaginer ensuite que le cylindre, pourvu de moyens d'action convenables, agit contre cette construction supposée stable et réagit sur lui-même de manière à cheminer de haut en bas. en pénétrant dans le sable. Il est évident, dès lors, qu'il laissera derrière lui la construction qu'il contenait, absolument comme un corps de pompe à piston plongeur abandonnerait derrière lui ce piston, si celui-ci, étant fixe, immuable, l'action développée dans la pompe pouvait en faire avancer le corps. La partie fixe, comparée au piston, est ici un cuvelage octogonal de $2^m.50$ de diamètre extérieur. Quant au cylindre, voici un sommaire de la description qu'en donne M. Laurent. Il a les dimensions extérieures du cuvelage et est formé de panneaux composés de madriers jonctifs placés horizontalement, revêtus à l'intérieur et à l'extérieur de larges tôles de $0^m.02$ d'épaisseur, rivées ensemble par des rivets à tête fraisée qui traversent le bois; ils s'assemblent à joints plats suivant l'onglet. Des pièces de fer pliées suivant l'angle du polygone et placées à plat entre les tôles de revêtement à la partie inférieure où elles forment un couteau, et à la partie supérieure, fournissent un moyen d'assemblage des panneaux; des bandages servent aussi à réunir les panneaux.

A la partie supérieure du prisme se trouve une pièce de bois logée entre les tôles de chaque panneau, mais qui les dépasse. Cette pièce porte deux entailles dans lesquelles viennent se loger des lames de cuir destinées à s'appliquer contre le cuvelage, et à empêcher l'eau et surtout le sable de passer. En cas d'insuffisance de cette disposition, un bourrage en mousse avec presse-étoupes peut-être exécuté entre le cylindre et le cuvelage.

Dans l'intérieur du prisme est placé un fond ou masque composé de huit panneaux correspondants à ceux du prisme. Ces panneaux, munis de fortes nervures, qui servent à les assembler entre eux, portent chacun un trou d'homme, et laissent au centre du puits une ouverture circulaire sur laquelle est établie une colonne de tuyaux en tôle, qui s'élève jusqu'au sommet des niveaux. Le masque est assujetti au prisme par deux cercles ou bandages.

Seize presses hydrauliques (deux par panneau) sont fixées contre le prisme, en sorte que l'effort qu'elles exercent par leurs pistons réagit sur le masque, en prenant pour point d'appui la partie exécutée du cuvelage. Ces presses sont unies deux à deux par des tuyaux, qui assurent la marche simultanée des deux presses qui occupent un même panneau.

Dans le tuyau central, indiqué plus haut, descend une tige en bois d'un fort équarrissage qui va de la surface au fond du puits. Les parties élémentaires dont elle se compose sont assemblées par des étriers. Cette tige sert à guider pendant qu'il monte ou descend et à faire tourner un trépan dilatable qui agit sous le masque ou bouclier pour assurer l'excavation dans laquelle le prisme s'engage.

Ce trépan se compose de deux manchons qui glissent librement sur la tige. Sur chacune de leurs faces sont articulés des bras rappelant la disposition des fourchettes et des baleines d'un parapluie renversé. Au manchon inférieur est suspendu un vase en tôle que la tige traverse en passant dans une tubulure qui en occupe le centre. Cette cuiller repose sur un arrêt dont la tige est amenée à sa partie inférieure.

Le manchon supérieur est suspendu à deux cordes. A mesure que ce manchon descend ou monte, les bras du trépan s'ouvrent ou se ferment; et, quand ils sont entièrement fermés, ils peuvent passer sans difficulté dans le tuyau central, et revenir à la surface en tirant après eux la cuiller.

Pour faire agir le trépan, on fait tourner la tige au moyen d'une manivelle qui, par une transmission de mouvement très-simple, imprime un mouvement de rotation à une grande roue que la tige traverse.

M. Laurent emprunte à l'auteur de ce remarquable projet l'exposé et la discussion des moyens qu'il comptait employer pour vaincre les diverses difficultés qu'on devait s'attendre à rencontrer, notamment à la fin de l'opération, au moment de raccorder le cuvelage avec le terrain houiller. L'opinion de la commission, consultée par la Société de Saint-Vaast, fut unanimement favorable au projet de M. Guibal, et son avis fut que le nouveau système présentait assez de chances de réussite pour qu'on pût en ten- l'emploi.

Pendant un voyage qu'il a fait en Belgique au mois de juillet dernier, M. Laurent a recueilli auprès de M. Guibal la confirmation des renseignements favorables, qu'il avait reçus déjà d'ingénieurs de la localité, sur le bon fonctionnement de l'appareil dont il s'agit.

L'avaleresse de Saint-Vaast avait reçu l'appareil, et il fonctionnait bien; il était alors dans les sables, à 85 mètres de profondeur, les argiles avaient été traversées très-facilement à l'aide du trépan dilatable qui a parfaitement réussi. Dans le commencement on ramenait l'argile attachée aux branches de l'instrument, et il en rapportait environ 3 à 4 hectolitres. Plus tard, on reconnut que l'argile délayée, n'ayant aucun inconvénient pour le travail, on pouvait prolonger l'action du trépan et le remonter moins souvent : cela activa de beaucoup l'approfondissement, et on parvint à faire de 15 à 20 centimètres par jour de travail utile. Il faut dire par jour de travail utile, parce que, dans le principe, on a été souvent entravé par de fréquents dérangements à la conduite des pompes alimentaires des presses hydrauliques, à la transmission de mouvement qui faisait tourner la tige du trépan, etc.

Lorsque l'on eut pénétré de 6 mètres environ dans les argiles, on s'aperçut que l'une des pièces du masque était cassée; cette fissure fut attri-

buée par M. Guibal au retrait de la fonte. Il en fit faire la réparation en exécutant un serrement en bois, à la manière de ceux qui s'exécutent dans les mines; mais on ne tarda pas à s'apercevoir que cette opération n'avait pas complètement réussi. Quoiqu'on eût atteint alors la couche de sable, M. Guibal résolut de tenter un nouveau serrement, mais il venait tant d'eau et tant de sable par la cassure, que la réparation était impossible; en effet, pour l'exécution, il fallait assécher le puits, et, pour l'assécher, il fallait que la réparation fût faite. On sortit de ce cercle vicieux en remplissant d'étoupes, provenant du défilochage de vieilles cordes, toute la capacité qui se trouvait sous le masque. Ce travail fut très-long et très-pénible, mais il réussit enfin, et à sa suite on fit un excellent serrement qui a parfaitement résisté jusqu'à ce jour.

Une fois en marche dans la couche de sable, le travail est devenu d'une régularité et d'une facilité remarquables; pendant plus de trois mois on a fait régulièrement 1 mètre à 1m.20 de fosse *finie* par semaine. Malheureusement, au commencement de décembre, les tuyaux qui alimentaient les presses s'étant obstrués, plusieurs couples de celles-ci n'ont pas fonctionné pendant une descente; et, quand on a voulu vider le puits pour aller poser le cuvelage, la pompe, qui n'a que 0m.20 de diamètre, fut impuissante. Voici ce qui s'est produit : les pans du cuvelage, dont les presses n'avaient pas agi, se sont desserrés, et laissèrent venir beaucoup d'eau par leurs joints.

Les accidents déjà réparés par l'auteur du système ne laissent aucun doute que, quelle que soit la gravité de ce dernier accident, il ne parvienne à en triompher. Ces échecs successifs, toujours surmontés, démontrent que l'appareil, par son ingénieuse disposition, et surtout sous la savante direction qui le fait agir, offre des ressources immenses, et dès lors une supériorité incontestable. Voici au reste le projet déjà adopté pour porter remède au mal actuel. On a cherché à faire remonter l'appareil pour qu'il vînt s'appuyer sous tout le pourtour du cuvelage; malheureusement les presses sont munies de soupapes de retenue, utiles dans toute autre circonstance, mais nuisibles dans celle-ci. Pour suppléer à cet inconvénient et presser le masque de bas en haut, le puits étant plein d'eau, on a fait élever la colonne centrale de 14 mètres, et on la maintient pleine d'eau. Sous cette action, l'appareil remonte, mais lentement, puisque l'eau des presses n'a d'issue que par les fuites des soupapes ou des cuirs. Du moment où il y a déjà mouvement, quel que faible qu'il soit, on est donc en droit de supposer qu'il se continuera, et que sous peu de temps ce nouvel obstacle aura disparu. Il paraît que jusqu'à présent la dépense du puits de Saint-Vaast est notablement inférieure à celle d'un passage à niveau dans les terrains résistants.

En terminant, dit M. Laurent, je dois, comme sondeur, signaler un perfectionnement apporté par M. Guibal aux soupapes dont nous nous servons pour extraire les sables de nos forages. Jusqu'ici nous avons toujours placé les clapets ou le siége des boulets à quelques centimètres au-dessus de base de l'instrument. Il paraît qu'il suffit de remonter de 0m.50 environ, clapet ou soupape, dans le tube, pour rendre l'instrument beaucoup plus sûr et plus

puissant. La partie inférieure, sous le mouvement de va et vient qu'on imprime aux soupapes, fait pompe, soulève le sable circonscrit et appelle celui qui l'entoure. Nous construirons sous peu des instruments de ce système et nous leur donnerons le nom de soupapes Guibal, considérant ce perfectionnement comme un service rendu à l'art des sondages.

M. le Président adresse à M. Ch. Laurent des remerciments en même temps que des éloges pour cette remarquable étude analytique sur un système éminemment original et rationnel, dû à un membre de la Société, et destiné à résoudre le problème le plus difficile peut-être entre tous ceux qui se présentent dans le fonçage des avaleresses.

SÉANCE DU 4 FÉVRIER 1859

Présidence de M. Faure

Il est donné lecture d'une lettre par laquelle M. Vuigner demande une addition au compte rendu de la dernière séance.

Dans sa communication du 21 janvier, M. Vuigner avait dit : « M. Fleur-« Saint-Denis, ingénieur principal à Strasbourg, avait eu d'abord la pensée « d'employer pour chaque pile un caisson en tôle, fermé sur les parois la-« térales et à la partie supérieure, garni d'une grande cheminée de service « et de deux cheminées à air, et de faire exécuter les maçonneries au-dessus « de ce caisson, au fur et à mesure qu'il s'enfoncerait, en déblayant le sol « au-dessous et en enlevant les produits de ces déblais au moyen de bennes « manœuvrant dans la grande cheminée de service.

« M. le baron de Weber, ingénieur en chef de l'administration des ponts « et chaussées du grand duché de Bade, avait eu la même idée à peu près « dans le même temps; et, lorsqu'il vint à Strasbourg pour donner con-« naissance du système qu'il proposait, M Fleur-Saint-Denis avait fait faire « déjà des dessins qui se rapportaient assez à ceux de M. de Weber.

« C'était sur ce système que la discussion s'était établie d'abord avant « d'arriver à la solution définitivement adoptée. »

M. le Président dit que la réclamation de M. Vuigner sera littéralement transcrite au procès-verbal ; après avoir exprimé un regret sur l'omission qui a motivé la lettre de M. Vuigner, il croit devoir faire remarquer, en outre, le bon et loyal sentiment qui a conduit notre collègue à vouloir, pour se servir des expressions contenues dans sa lettre, « rendre à César ce qui est à César. »

Il est ensuite donné lecture d'une lettre par laquelle M. Combes, secrétaire de la Société d'encouragement, informe que cette Société a décidé, sur

la proposition de l'un de ses membres, M. Ch. Laboulaye, qu'une demande serait adressée à l'Administration supérieure, à l'effet d'obtenir que les brevets d'invention soient publiés, au fur et à mesure de leur obtention, dans la forme adoptée pour les patentes anglaises. M. Combes demande à la Société des ingénieurs civils d'agir dans le même sens.

M. Le Président annonce que le comité propose d'appuyer la demande de la Société d'Encouragement

M. Roy indique que le même mode de publicité est suivi en Sardaigne.

M. Laurens signale une difficulté sérieuse dans l'application proposée. Elle réside en ceci, que la législation française admet les certificats d'addition, en réservant au breveté le privilége d'une année pour les demandes d'addition ou de perfectionnement.

La Société charge M. le Président d'examiner la question qui lui est soumise, et de répondre au nom de la Société à M. le Secrétaire de la Société d'Encouragement.

M. Petiet, Vice-Président, prend place au fauteuil, et M. Faure a la parole pour une communication sur le projet de percement de l'isthme de Nicaragua par MM. Belly et Thomé de Gamond.

Dans une séance assez récente, le Président venait d'annoncer que la Société avait reçu de MM. F. Belly et Thomé de Gamond, l'un de nos confrères, un livre dont voici le titre : ***Percement de l'isthme de Panama par le canal de Nicaragua.***

Avec plusieurs d'entre nous, j'avais eu l'honneur de recevoir un exemplaire de cette publication; un coup d'œil jeté sur les cartes qui l'accompagnent ayant suffi à m'en révéler l'importance, j'avais immédiatement parcouru ce volume, où les données d'une belle question sont exposées avec une grandeur simple et séduisante. Je crus donc devoir exprimer devant vous la première impression qui était résultée pour moi de ce commencement de lecture, et c'est ainsi qu'un hazard m'a valu ce qui m'a semblé depuis une sorte de bonne fortune, l'honneur d'avoir à vous rendre compte du livre de MM. F. Belly et Thomé de Gamond.

Je vais m'efforcer de remplir cette tâche, heureux si je réussis à faire passer dans vos esprits une partie seulement des contentements intellectuels que j'ai éprouvés en étudiant le bel exposé de la question sur laquelle M. Belly a su attirer l'attention du monde, après lui avoir préparé, au prix de bien des labeurs sans doute, des chances nombreuses pour une bonne et prompte solution.

Si l'on regarde une Mappemonde, en fixant les yeux sur le grand continent qui comprend les Amériques du nord et du sud, on voit ces deux colosses reliés par une langue de terre qui apparaît comme un étroit barrage entre les deux océans Atlantique et Pacifique. Il semble qu'une digue jadis immense, puisqu'elle aurait été limitée dans sa largeur primordiale, d'une part par la côte occidentale des deux Amériques; d'autre part, par une ligne sinueuse que jalonneraient New-York, la Havane, Porto-Rico, Haïti, la

Guadeloupe et la Martinique; il semble, dis-je, que cette digue colosse ait été successivement envahie par les eaux qui l'auront dû ronger, en laissant surnager derrière elles et à l'orient le magnifique groupe des Antilles, formant comme une chaîne de balises fortunées qui enserre le vaste golfe du Mexique, et cet autre golfe plus vaste encore qui porte le nom de mer des Antilles.

Cette langue de terre, ce trait d'union entre les deux Amériques, c'est en réalité, Messieurs, et ici j'emprunte les paroles de M. Belly : « Un territoire plus grand que la France, d'une admirable distribution de cours d'eau, de plateaux et de montagnes, d'un développement de côtes sans égal relativement à la superficie qu'elles limitent entre les deux bassins océaniques. » C'est l'*Amérique centrale.*

Elle s'étend de l'isthme de Tehuantepèque au golfe de Darien, entre le Mexique au nord-ouest d'une part, la Nouvelle Grenade et l'isthme de Panama au sud-est d'autre part. Sur une superficie de deux mille huit cents lieues carrées environ, bordées par près de huit cents lieues de côtes comprenant plusieurs ports magnifiques, sont groupés trois millions d'habitants de sang mêlé (Indien et Espagnol), race vigoureuse et intelligente, divisée entre cinq États ou Républiques aujourd'hui distinctes, mais occupées à cette heure à tenter de se relier en un faisceau unique. Elles s'appellent : Guatemala, San-Salvador, Honduras, Nicaragua et Costa-Rica.

Un climat admirable, une merveilleuse fertilité, une incroyable richesse de sol, comportant toutes les cultures des climats chauds, une température aussi variée que l'aspect du pays; sur certains plateaux tels que ceux de l'État de Costa-Rica, un printemps éternel, des magnificences végétales et minérales, des moteurs gratuits à chaque pas, voilà les éléments que présente ce beau pays, où tout semble appeler les industries agricoles, métallurgiques et forestières notamment; je le crois et je le redis sur la foi du livre de M. Belly, sur celle d'une autre et plus ancienne publication que j'aurai à invoquer dans quelques instants.

La cochenille à Guatemala, l'acajou à Honduras, l'indigo à Nicaragua et San-Salvador; le café à Costa-Rica, le cacao sur les bords du lac de Nicaragua; le coton à cultiver sur des plaines immenses; les bois de teinture, de marqueterie, d'ébénisterie, de construction, en quantités inépuisables; le tabac, la canne à sucre, le sorgho; enfin des mines d'or et d'argent capables de lutter avec celles de la Californie et de l'Australie, pour ne rien dire de plus, voilà, avec des matières d'échange telles que cuirs, écaille, quinquina, etc., les éléments industriels et commerciaux qui s'offrent en masse sur ces beaux territoires à travers lesquels il s'agit de tracer *une ligne de jonction entre les deux océans.*

Fixons d'abord le but grandiose du projet en empruntant nos termes à l'une et à l'autre des deux publications auxquelles je dois puiser.

« La jonction entre l'Atlantique et le Pacifique, au moyen d'un canal traversant le centre du nouveau monde, aura pour effet de raccourcir de trois mille milles (douze cents lieues environ) la distance qui sépare l'Europe de tout le littoral occidental de l'Amérique, ainsi que de l'Océanie; de

rendre les communications avec la Chine, le Japon, la Nouvelle-Zélande et la Nouvelle-Hollande, rapides et faciles par la vapeur; d'élever immédiatement à un degré prodigieux de prospérité les contrées qu'une pareille entreprise fera traverser chaque année par un nombre indéfini de navires marchands; d'ouvrir de nouvelles voies au commerce et de nouveaux débouchés aux produits européens; de hâter, en un mot, de plusieurs siècles les progrès du christianisme et de la civilisation du globe. »

Tels sont, Messieurs, les termes dans lesquels on trouve la question posée et définie, dès 1846, dans une brochure publiée à Londres, par un homme qu'avec moi et dans quelques instants vous aurez le droit de revendiquer comme l'un des nôtres, avec un orgueil respectueux, quand j'aurai analysé devant vous la belle étude d'ingénieur par lui élaborée derrière les murs d'une prison politique.

« Il s'agit, a pu dire à son tour et avec vérité M. Belly en 1858, de supprimer le cap Horn, d'épargner à la navigation entre les deux océans deux à trois mille lieues de parcours, au moyen d'un canal maritime accessible aux plus grands navires. »

La grandeur du but ainsi posée, il convient d'indiquer les chiffres rémunérateurs promis à ceux qui l'auront su atteindre; d'évaluer, en un mot, les recettes du canal interocéanique.

Basant ses évaluations sur les documents statistiques publiés en 1843, le captif de Ham établissait les revenus probables de cette œuvre gigantesque, en leur assignant deux sources très-distinctes, *le péage*, d'une part, *la plus-value des terrains,* d'autre part.

« Il est constant, écrivait, en 1846, le Prince Louis-Napoléon, que le mouvement annuel de la navigation par le cap Horn dépasse sept cent mille tonneaux, et qu'il en est de même pour la navigation du cap de Bonne-Espérance. Sur ces quatorze cent mille tonneaux on peut compter que neuf cent mille au moins, prendraient la voie du canal, sans parler de l'accroissement inévitable que produiraient la plus grande facilité des communications et l'ouverture de débouchés nouveaux à l'industrie Européenne. »

Appliquant à ce mouvement maritime les prix élémentaires fixés déjà et alors par un autre et très-regrettable ingénieur, M. Garella, le Prince arrivait naturellement, logiquement, à une valeur de quinze millions de francs pour représenter les produits annuels du péage.

M. F. Belly, en 1858, empruntant ses données statistiques *à nos annales du commerce extérieur*, a pu écrire, preuves en mains, à l'encontre du chiffre de 900,000 tonneaux admis par le Prince, les paroles qui suivent :

« Aujourd'hui le seul port de San-Francisco accuse un mouvement annuel de 1,000,000 de tonneaux, et celui de Honolulu un mouvement de 227,000 tonneaux. »

Il a pu dire en outre : « En 1843, les gisements aurifères de la Californie et de l'Australie n'étaient pas découverts... Le Japon et la Chine étaient fermés... Le Pérou et le Chili n'avaient pas encore de commerce; le guano des îles Chincha n'était pas devenu l'objet d'une exploitation

énorme. L'importance des îles Sandwich au milieu du Pacifique n'était pas établie encore. »

Cette importance, vous la comprendrez, Messieurs, en regardant le groupe d'îles placées au centre de cette mer immense comme une sorte de poteau au milieu d'un vaste rond-point ou d'une immense clairière de forêt, et duquel on peut apercevoir à jalon plein (sur la carte bien entendu) : d'un côté le Chili, le Pérou, l'Amérique centrale, le Mexique, la Californie, les possessions russes dans la partie boréale de l'Amérique du Nord, du cap Horn au détroit de Bœhring; de l'autre : la Nouvelle-Zélande, l'Australie, le vaste archipel Polynésien, les Philippines, la Chine, le Japon et les possessions russes au nord de l'Asie. »

« En 1843, a pu dire encore M. Belly, la révolution dans le matériel naval des nations était commencée à peine; une révolution se préparait dans la circulation métallique, dans la navigation internationale... Il n'y a plus de limites maintenant à des prévisions légitimes » touchant l'avenir rémunérateur du canal interocéanique.

Evaluant enfin le tonnage des navires qui devront le traverser, M Belly, sans qu'on puisse, je le crois, l'accuser d'exagération, établit pour 1857 les chiffres suivants :

San-Francisco et retour	1,000,000	tonneaux.
Nouvelle Grenade, Amérique du Sud	550,000	»
République de l'Equateur	50,000	»
Le Pérou	800,000	»
Le Chili	1,500,000	»
Les îles Sandwich (baleiniers)	227,000	»
Ensemble	4,127,000	tonneaux

qu'il réduit ensuite, et pour faire entrer en ligne de compte les doubles emplois et quelques autres causes réductrices, à *trois millions de tonneaux*.

Fixant un péage extrêmement réduit, de 10 fr. appliqué à 3,000,000 tonneaux, et de 60 fr. par tête appliqué à 100,000 passagers, M. Belly adopte pour le produit qu'auraient représenté les péages en 1857 une somme totale de 36,000,000 de francs.

Enfin, et pour faire comprendre que ce total serait bien dépassé aujourd'hui, qu'il devra l'être bien davantage encore dans un avenir très-rapproché, l'habile publiciste emprunte à un document étranger (*Sailing-directions* — 1855, par le lieutenant Maury), des données pleines d'intérêt que je n'ose vous citer, parce que je crains de vous fatiguer.

Un même sentiment de réserve à l'endroit des instants d'attention que je puis réclamer de vous, Messieurs, peut seul m'empêcher de vous dire les considérations pleines de grandeur qui permettent à M. Belly d'envisager l'avenir prochain dans lequel, les deux isthmes coupés (*Suez et Panama*), l'effectif naval de tous les peuples totalisé ayant atteint 25,000,000 de tonneaux, la navigation au long cours n'aura plus à décrire sur le globe que des arcs de grand cercle, alors que : « *Vers chacun des deux bos-*

« *phores* sera établie une navigation à la voile, à la vapeur, sans limites « pour ainsi dire ; alors que *le tour du monde*, d'Orient en Occident, effec- « tué sans quitter les grands parallèles, sera devenu l'itinéraire normal du « commerce, ouvrant à ses combinaisons tout l'échiquier des Océans. »

M. Belly arrive ainsi, sans avoir besoin de forcer ses prémisses, à pouvoir conclure dans les termes que voici :

« Quelle que soit la timidité des prévisions à longue échéance, et en ne s'appuyant que sur des résultats acquis publiés dans les documents officiels, la recette brute du canal de Nicaragua, résultant du péage des navires et d'un mouvement très-limité de voyageurs, ne peut être évaluée, au moment de son ouverture, à moins de 55,000,000 à 60,000,000 de francs. »

« On s'explique dès lors la fortune du chemin de fer de Panama, qui, malgré des dépenses de construction exagérées et d'énormes frais d'entretien, distribue 40 °/₀ à ses actionnaires. »

Deux mots encore, Messieurs, pour effleurer un sujet qui demanderait cependant de longs développements : je veux parler de la *seconde source de produits* inhérente à l'ouverture du canal de Nicaragua, celle qui doit résulter de la mise en valeur de la vaste zône de territoire bordant les deux rives de cette voie navale, concédée dès ce jour, ainsi que vous le verrez bientôt, à ceux qui en pourront entreprendre la réalisation.

Sur ce qui se rapporte à cette plus-value du sol, qui doit être créée par la construction du canal, lisez, Messieurs, le chapitre II de la brochure napoléonienne publiée en 1846, et vous y suivrez avec un intérêt très-réel l'exposé d'un système de colonisation ingénieux et pratique, je crois, dans lequel l'immigrant devient actionnaire et propriétaire, au prix d'une somme initiale des plus réduites, pendant que la compagnie concessionnaire, au prix d'une dépense première très-restreinte, si on la compare au résultat obtenu, assure le service des intérêts d'abord, et au minimum ensuite la duplication du capital engagé par elle dans les frais de colonisation proprement dite.

Sur ce même chef de la création d'une plus-value du sol riverain concédé à la compagnie qui construira le canal, M. Belly me semble avoir été plus que sobre dans ses prévisions lorsqu'il a fixé à 50,000,000 de francs seulement, ou à 500 francs l'hectare, la valeur vénale de 100,000 *hectares de terres* baignées par les eaux d'un grand fleuve, qui devront voir passer devant elles chaque jour trois cents navires; admirablement propres aux grandes cultures exotiques; couvertes aujourd'hui de magnifiques forêts vierges, et voisines de régions aurifères. Pour dépasser de beaucoup cette prévision, il semble qu'il suffise d'admettre que la compagnie concessionnaire disposera d'un capital suffisant pour pouvoir attendre et n'être pas obligée de réaliser presque immédiatement les valeurs que ses travaux doivent créer et grossir rapidement.

L'instant est venu, Messieurs, d'aborder les questions de tracé, d'exécution de cette grande ligne navale, dont j'ai essayé de vous faire voir l'importance et le prodigieux avenir. Toutefois il peut être utile et intéressant de vous dire d'abord quelques mots sur l'historique de ce projet

Il faut attribuer au conquérant du Mexique, à l'audacieux inventeur de la mer du Sud, à *Fernand Cortès*, l'idée première de relier les deux mers par une coupure faite à travers l'Amérique centrale, et cette idée a été constatée dans un Mémoire adressé par ce navigateur à Madrid en 1528. En 1534, les autorités de la province de Nicaragua signalaient à la cour d'Espagne l'existence d'un lac magnifigue alimentant un fleuve assez large pour servir de canal interocéanique. Au dix-huitième siècle l'Angleterre songea à cette coupure sous l'impulsion de Pitt, et il convient de rattacher à cette prévision une expédition anglaise dans les eaux du San Juan, en 1780.

En 1804, M. Alexandre de Humboldt posait le problème dans ses termes scientifiques, après un long voyage à travers les Cordillières, et il indiquait cinq tracés différents, entre lesquels celui qui proposait une coupure par le Nicaragua reste seul debout.

En 1823, après que les révolutions locales eurent anéanti l'autorité de la monarchie espagnole, Antonio de la Cerda demandait à l'assemblée législative du jeune Etat de Nicaragua de décréter une coupure que plusieurs compagnies américaines proposaient d'exécuter : un traité consenti avec l'une d'elles en 1826 échoua faute de capitaux.

En 1828, le roi des Pays-Bas, Guillaume Ier, d'industrielle mémoire, avait songé à consacrer une partie de sa fortune personnelle à cette grande création; et le général Nerveer avait conclu, au nom de son souverain, avec les gouvernements locaux, des arrangements auxquels la largeur théorique et pratique était loin de faire défaut, mais que la révolution de Belgique, en 1830, vint rendre stériles.

En 1830 et 1845, les combinaisons se sont succédé sans pouvoir aboutir, jusqu'au jour où le prisonnier de Ham, après un traité signé avec le représentant du Nicaragua, conçut le projet de la création d'un empire hispano-américain qui doterait le monde d'un Bosphore nouveau, assignant à la ville de Léon ou Massaya le rôle de la Constantinople future du Nouveau-Monde, parce qu'elle commanderait les deux Océans, de même que, dans l'ancien, la ville de Constantin commande la Méditerranée et la mer Noire.

En 1843, M. Garella, envoyé par le gouvernement français, avait étudié le projet d'une coupure à travers l'isthme de Panama, séduisant par la longueur très-réduite du tracé correspondant (48 à 60 kilomètres), « mais effrayant, dit M. Belly, au point de vue de l'inconnu dans le chiffre des dépenses. » Cette coupure, d'ailleurs, selon le prince Louis-Napoléon, aurait traversé un pays marécageux, malsain, inhabité, inhabitable, et les difficultés, peut-être insurmontables, de l'alimentation du point de partage à 54 mètres au dessus du niveau des deux Océans, avaient conduit M. Garella à proposer un souterrain monstre, dont le devis atteignait 50 millions de francs, sans offrir à la navigation des conditions essentielles.

En 1849, un traité intervint entre l'Etat de Nicaragua et la Compagnie White et Vanderbilt de New-York. Ce traité, qui réglait un double privilége de canal d'une part, et d'autre part de transit pendant la durée des travaux,

n'a eu d'autres effets, pour rester en dehors des questions politiques entre les Etats-Unis et l'Amérique centrale, qu'un monopole de transit et quelques sondages.

Enfin, le 19 avril 1850, la diplomatie intervenait activement dans cette grande question par la convention connue sous le nom de ***Traité Clayton-Bulwer***, entre les Etats-Unis et l'Angleterre, « dans le but de faciliter et de « protéger la construction d'un canal de grande navigation entre les Océans « Atlantique et Pacifique..... » Elle donnait ainsi une sanction officielle, internationale, aux idées exprimées dans la brochure napoléonienne, touchant *une communauté d'intérêts* entre toutes les puissances maritimes dans la réalisation de ce projet, et l'absence des éléments de jalousies internationales que l'on pourrait signaler dans une autre question de même nature.

A ce rapide historique, faisons succéder une comparaison entre les différents *avant-projets* proposés jusqu'à ce jour. Ici, Messieurs, je dois faire intervenir d'une façon plus expresse encore la publication du prisonnier de Ham, en lui empruntant les détails techniques qui me semblent justifier, en tant qu'il le faudrait faire, le titre d'*ingénieur civil*, que j'ai cru pouvoir donner à l'auteur de ce document qui me semble devoir peser d'un si grand poids dans la question actuelle. Loin de moi la pensée que vous voudriez voir en cela une parole légère en dehors du respect que nous devons au souverain, mais il nous doit être permis de revendiquer (tout haut ou tout bas, comme vous voudrez, car cela restera vrai de l'une ou de l'autre façon), *comme l'un des nôtres*, celui qui a su trouver dans les loisirs studieux du captif les éléments d'une étude grandiose et à peu près complète. C'est donc un titre de gloire que j'entends réclamer pour notre corps.

Écoutez, Messieurs, et vous direz si je suis dans le vrai.

« L'Etat de Nicaragua peut devenir la route obligée du grand commerce « du monde, car il serait pour les Etats-Unis la route la plus courte vers « la Chine et les Indes orientales, pour l'Angleterre et le reste de l'Eu- « rope vers la Nouvelle-Zélande, la Polynésie et toute la côte occidentale « de l'Amérique.

« Dans cette partie du continent américain (l'Amérique centrale), cinq « points ont été signalés comme propres à l'ouverture d'une communication « entre les deux mers.

« Le premier sur le territoire mexicain, à travers l'isthme de Tehuante- « pec ; le second à travers l'isthme de Panama ; le troisième à travers « l'isthme de Nicaragua ; deux autres, enfin, qui prennent pour point de « départ le golfe de Darien. »

Le Prince juge ensuite le premier de ces tracés, en indiquant un chiffre de 200,000,000 de francs pour les dépenses d'exécution, et en signalant, d'ailleurs, des difficultés insurmontables peut-être, des inconvénients graves et divers, joints à celui du débouché dans le golfe du Mexique dangereux pour la navigation.

Après avoir élagué de même, et sur la foi d'indications données par

M. Michel Chevalier, les deux coupures proposées en prenant pour point de départ le golfe de Darien, il reste en présence d'une comparaison restreinte au projet basé sur le percement de l'isthme de Panama et celui d'un canal qui utiliserait le lac de Nicaragua et le beau fleuve San-Juan.

Vous lirez, Messieurs, dans le texte même, tel que l'a reproduit M. Belly, les développements en style nerveux et coloré, les grandes vues économiques, sociales et politiques qui ont conduit l'illustre auteur à adopter un tracé présentant dans son cours « les meilleurs mouillages, qui soit « en communication avec le plus grand nombre de rivières,... qui possède « une suite de *bassins naturels* servant de docks,... etc. »

Partant du port de San-Juan-del-Norte, dans l'Atlantique (Grey-Town), *le tracé napoléonien* remonte le fleuve San-Juan sur sa longueur totale de cent soixante-sept kilomètres, traverse le lac de Nicaragua dans sa plus grande longueur sur cent quarante-cinq kilomètres, remonte le Rio-Tipitapa sur son parcours entier de trente-deux kilomètres, traverse le lac de Léon ou de Managua suivant une ligne de cinquante-six kilomètres. De ce niveau culminant, il descend au Pacifique au moyen d'une coupure de quarante-sept kilomètres, pratiquée entre deux chaînes de montagnes sensiblement parallèles à la côte occidentale de cet Océan, et vient déboucher au port de Realejo, comprenant ainsi un parcours total de quatre cent cinquante kilomètres, dont cent trente et un seulement réclament des travaux.

Le Prince emprunte à des études antérieures les cotes qui fixent les niveaux des points principaux de son tracé, et les indique.

Il donne ensuite des renseignements nombreux, développés et pleins d'intérêt, dans le but de rechercher et de faire voir quels sont les travaux nécessaires. Il étudie ainsi :

1° Le *cours du San-Juan*, en signalant deux de ses nombreux affluents, et le mode actuel de la navigation sur ce fleuve, en indiquant ses *rapides*, compris dans un parcours total de 16 kilomètres, les îlots parsemés sur la partie inférieure du fleuve et au voisinage de son embouchure, à la suite d'une large dérivation, prenant son point de départ sur la rive droite du San-Juan pour former le Rio-Colorado, qui enlève au San-Juan *une masse d'eau qui varie entre un minimum de trois cent cinquante-six mètres cubes et un maximum de mille quatre-vingt-sept mètres cubes par seconde !*

Le Prince est conduit à diviser le San-Juan en quatre parties distinctes, en fixant pour chacune d'elles les travaux de canalisation à exécuter.

Sur la première en amont, quarante-trois kilomètres, un simple dragage exécuté par appareils à vapeur; sur la seconde, correspondant aux rapides, vingt-quatre kilomètres, trois écluses et des travaux de fond; sur la troisième, soixante-neuf kilomètres, quatre ou cinq écluses et des dragages ; enfin, et sur la quatrième, entre la prise d'eau du Colorado et l'Atlantique, un barrage et des travaux de fond, pour former le chenal d'arrivée dans le port de San-Juan, très-vaste et très-sûr.

2° Le *lac Nicaragua,* immense et inépuisable réservoir de cent soixante-sept kilomètres de longueur, sur trente-deux de largeur moyenne, alimenté

par de nombreux affluents, renfermant quelques îles importantes et un mouillage excellent au voisinage de la ville de Grenade.

3° Le *Rio-Tipitapa*, qu'il faudrait canaliser sur tout son parcours, de trente-deux kilomètres, au moyen de trois écluses.

4° Le *lac de Managua* ou de Léon, richement alimenté, et suffisamment encaissé pour que son niveau puisse être relevé au besoin par un barrage éclusé.

5° L'*isthme à couper entre ce lac et le Pacifique*, le *port de Realejo.* Sur ces deux points importants l'étude napoléonienne est assez riche en détails, en renseignements ; et cependant, qu'il me soit permis de le dire, malgré le nombre et l'intérêt de ces renseignements, cette cinquième et capitale partie du projet me semble un peu bien indéterminée. Elle laisse, je le crois, un champ trop large au chapitre de l'inconnu et des hypothèses, à défaut de notions précises et d'études topographiques suffisantes qui ont fait défaut à l'auteur.

Après avoir déterminé rationnellement et fixé les dimensions des ouvrages de la manière suivante,

Canal	Hauteur d'eau.	7 m.	»
	Largeur au plan d'eau	44	»
	Largeur au plafond	20	»
Écluses	Largeur entre bajoyers.	14	25
	Longueur de sas	64	»

le *Prince-ingénieur* évalue les frais de construction, en prenant pour base les prix élémentaires du projet Garella :

1° *Travaux du fleuve San-Juan*	10 écluses	6,000,000	21,520,200
	Dragages sur 47 kilom.	8,613,000	
	Travaux à la mine sur 7 kil. .	2,746,400	
	Chemin de halage sur 67 kil .	3,660,800	
	Barrage du Colorado	500,000	
2° *Travaux de la rivière Tipitapa*	3 écluses.	1,800,000	9,544,000
	Travaux en lit de rivière. . .	7,040,000	
	Chemin de halage.	704,000	
3° *Travaux sur l'isthme de Realejo*	Tranchée d'une profondeur moyenne de 10m sur 47 kil.	36,026,135	53,936,125
	29 écluses, (6 pour la pente orientale, 23 pour la pente occidentale)	17,400,000	
	Chemin de halage sur un sol déjà très-uni.	510,400	
4° *Travaux à exécuter aux ports*.			2,000,000
5° *Achat d'outils, chariots, etc.*.			3,000,000
		Ensemble.	90,000,325
Et en ajoutant pour l'imprévu et un fonds de réserve			9,999,675
		Total.	100,000,000

Il est utile de dire que les prix élémentaires, empruntés par le Prince aux études du projet Garella, sont fixés sur les prix de main-d'œuvre en Europe, augmentés de 50 °/₀.

Telle est, Messieurs, dans son ensemble présenté sous forme de résumé rapide mais complet, aussi exact que je l'ai pu faire, la très-remarquable étude faite, en 1845, par le Prince Louis Nopoléon, treize années avant celle que je vais vous soumettre.

M. Félix Belly a pensé, en 1858, que *les temps étaient venus* pour la réalisation du canal interocéanique; il a compris en même temps la grandeur de la solution proposée en 1846 par le Prince Louis Napoléon, et il s'est attaché à lui redonner la vie. Avec une rectitude d'esprit et une habileté qui l'honorent, M. Belly a pensé que de bonnes prémisses préparaient les bonnes conclusions, et il a conclu avec les Présidents des États de Nicaragua et Costa-Rica, une convention grandiose, libérale, dont je dois vous signaler les points saillants :

1° Concession de quatre-vingt-dix-neuf ans, *à partir de l'ouverture du canal*, le concessionnaire restant libre sur le tracé, *pourvu que celui-ci remonte le fleuve San-Juan, traverse le lac de Nicaragua, pour aboutir au Pacifique, entre Realejo et Salinas;*

2° Une *zône de quatre kilomètres de largeur, sur chacune des rives de la voie navale à ouvrir, est concédée* par les deux États riverains, à M. Félix Belly et à ses adhérents;

3° *Toutes mines existantes sur les terrains concédés*, découvertes ou à découvrir, sont concédées de même à M. Belly et à la compagnie qui exécutera le canal;

4° *Les deux ports* formant les têtes du canal *sont déclarés ports francs;*

5° *Le canal sera ouvert, au même titre, à tous les pavillons, avec taxe uniforme* de 10 fr. par tonneau et 60 fr. par passager;

6° Le barrage du Colorado et tous les travaux d'art que la Compagnie concessionnaire jugera utiles sont autorisés;

7° Les dimensions du *canal* seront réglées pour qu'il soit *accessible aux navires du plus fort échantillon, ceux-ci pouvant se croiser;*

8° *Deux années de délai* sont accordées pour l'organisation, les études, etc., *jusqu'au commencement des travaux;*

9° Enfin *les droits de douane*, à l'entrée et à la sortie, ne pourront dépasser 3 °/₀, *ad valorem.*

Cette belle convention, qui honore profondément ses auteurs, signée par MM. *Thomas Martinez*, Président du Nicaragua, *Raphaël Moro*, Président de Costa-Rica, et *Félix Belly*, publiciste français, a été conclue le 1ᵉʳ mai 1858, dans la ville de *Rivas de Nicaragua;* elle vient d'être ratifiée par les assemblées législatives des deux États.

Le tracé Belly emprunte franchement, loyalement, au projet napoléonien la canalisation du San-Juan et la traversée du lac de Nicaragua; mais il traverse ce dernier en échancrant sa partie méridionale par une courbe dont le point de départ est pris à San-Carlos, au lieu où les eaux du lac se déver-

sent dans le San-Juan, et dont l'autre point extrême est situé au confluent du Rio-Sapoa, situé sur la rive occidentale du lac. L'isthme qui sépare ce dernier du Pacifique est coupé au moyen de deux lignes droites qui se rencontrent sous un angle de 125 degrés, conçues à travers les gorges de Salinas; la baie de ce nom doit former le port et le débouché dans l'océan Pacifique.

On voit donc que ce tracé a conservé le lac de Nicaragua comme dock immense, destiné à recevoir les produits de l'Amérique centrale, à distribuer tous les produits importés. Il conserve donc, et sans les amoindrir trop sensiblement, ***toutes les grandes conditions*** du projet napoléonien.

Le devis avant-projet, redigé par l'un des membres de notre Société, ***M. Thomé de Gamond,*** se divise ainsi :

1° ***Point de partage;*** 2° ***branche orientale;*** 3° ***branche occidentale.***
Examinons rapidement ces trois chapitres, en insistant seulement sur les faits et données que n'aurait pas indiqués déjà la publication napoléonienne.

Point de partage. — Le lac de Nicaragua, réservoir d'alimentation unique dans le monde par sa masse et son étendue, est une mer intérieure dont la superficie dépasse ***six cent mille hectares.*** Recevant le trop plein du lac Managua, il est en outre alimenté par quarante rivières, entre lesquelles plusieurs sont navigables.

Son niveau situé, d'après l'ingénieur anglais Baily, à 36 mètres au-dessus de l'Atlantique, et à 38 mètres au-dessus du Pacifique, varie dans l'année de 2 mètres environ; sa cuvette présente, au-dessous de l'étiage, une profondeur variable dépassant 10 mètres, et, sur la partie qui intéresse le tracé du projet, on a constaté des fonds de 18 mètres. A l'exception de quelques points du littoral, offrant des mouillages privilégiés, les accores sont en général très-plates, et l'on est ainsi forcément conduit à creuser un chenal pour abaisser convenablement le plafond à chacune des naissances des deux branches du canal. Cette opération, qui devra être faite dans un sol d'alluvion récente, sera d'ailleurs facile.

Les chenaux d'accession, creusés par la drague à vapeur, seront défendus à leur origine par des jetées en charpente enracinées aux rives du lac et indiquées au large par des lignes de balises.

L'ensemble des travaux sur le lac coûtera 2,720,000 fr.

Branche orientale. — Le lit du fleuve San-Juan formera cette branche du canal; ce fleuve décrit deux courbes inverses, dont la longueur directe est de 145 kilomètres, mais de nombreuses sinuosités allongent son parcours jusqu'à 175 kilomètres.

La pente moyenne du fleuve mesurée par la comparaison entre la différence de niveau entre les points extrêmes et la longueur développée du parcours serait de 1/5000^{e} ou 0,0002, c'est-à-dire assez forte pour que la remonte en doive être très-coûteuse. Mais cette moyenne n'existe pas dans l'état naturel; le lit du fleuve, dans sa partie supérieure, est traversé par des barres de roches qui affleurent parfois la surface des eaux et don-

nent lieu à des rapides successifs, tandis que dans la plus grande partie du fleuve les eaux sont presque dormantes.

M. Thomé de Gamond discute trois systèmes différents : 1° *L'amélioration pure et simple du régime naturel;* 2° *la canalisation par biefs de niveau;* 3° *la canalisation à courant continu.* La première ne pourrait, dit-il, atteindre le but, c'est-à-dire réaliser un tirant d'eau constant de 8 mètres ; la seconde multiplierait les écluses et ne pourrait s'établir qu'au moyen d'un canal latéral. Le fleuve reçoit d'ailleurs 70 affluents, qui entraînent l'humus des forêts vierges traversées, et ces *troubles* viendraient se déposer en s'accumulant dans les biefs à eau dormante. Le dernier des trois systèmes semble nécessaire à M. Thomé de Gamond, le lit du fleuve étant le thalweg général de la contrée ; il en a donc fait la base de son plan. Il propose de barrer le fleuve en généralisant par des conditions normales le régime naturel existant dans les rapides du bassin supérieur, mais il entend que ces barrages doivent être répartis avec une sage mesure

« L'adoption d'un système mixte permet, dit l'auteur de l'avant-projet, d'obtenir le brassiage désiré par abaissement du plafond, en même temps que par surélévation du plan d'eau au moyen d'endiguements dans l'aval des biefs. »

M. Thomé de Gamond propose donc sept barrages éclusés sur le cours du San-Juan, y compris l'écluse de défense construite à la mer. « Nous inclinons à penser, dit-il, que ce nombre pourrait être réduit. » Ce système d'indécision nous a semblé fâcheux, qu'il nous soit permis de le dire, parce qu'il ouvre la porte du doute à l'endroit de la valeur des études qui doivent conduire aux chiffres estimatifs des dépenses.

Les *cinq rapides,* du Toro, de Castillo, de Balbas, de Mico et de Mabuca, seraient rachetés par *trois écluses;* deux autres seraient établies en amont des confluents du Rio-San-Carlos et du Rio-Serapiqui. La sixième écluse serait placée au confluent du Rio-Colorado, et la septième au débouché du fleuve dans l'Atlantique, à San-Juan del Norte.

Le courant du fleuve serait ainsi régularisé sur la pente de 1/20000e ou 0,00005; il serait donc assez faible pour offrir peu de résistance au halage des navires, et suffisant, néanmoins, pour maintenir les vases en suspension jusqu'à la mer.

Les écluses seraient construites dans des dimensions qui leur permettraient de contenir à la fois quatre navires ; il n'y a pas lieu de se préoccuper du volume d'eau absorbé par les éclusées, parce que l'on dispose d'un volume d'eau relativement illimité. Les sas auraient 30 mètres de largeur sur 80 mètres de longueur, et les portes seraient ouvertes à une largeur de 15 mètres.

L'auteur estime qu'il conviendra de faire dominer les ouvrages en charpente sur ceux en maçonnerie, et il motive cette opinion sur les ressources locales.

Il arrive enfin aux estimations qui suivent pour les dépenses relatives à la branche orientale :

7 barrages éclusés	7,000,000 fr.
Endiguements à l'aval de chaque bief	2,100,000
Dragages sur le plafond du fleuve	8,500,000
Travaux de mine aux barres des rapides	2,750,000
Chemin de halage	3,750,000
Ensemble	24,100,000 fr.

On retrouve ici les évaluations sommaires du projet napoléonien, sauf une augmentation de 3,000,000, qui s'explique par les plus grandes dimensions des écluses du projet nouveau, bien que le nombre en soit moindre que dans celui du Prince.

Branche occidentale. — L'examen des mouillages de la côte du Pacifique dans la région correspondante au lac de Nicaragua a démontré à M. Belly leur insuffisance complète, tandis que « la baie de Salinas, au sud « de cette région, présenterait au contraire des conditions nautiques com- « parables à celles des meilleurs ports du monde. C'est une profonde rade « circulaire de 5,000 hectares de superficie, sans plages basses, et dont « la profondeur, exactement sondée, varie de 8 à 14 mètres. Son « mouillage, protégé en outre par la petite île située à l'entrée de son che- « nal, est réputé un des meilleurs de la mer du Sud. »

Le *canal de Salinas* est l'œuvre capitale du projet, et c'est par là qu'il diffère de tous les projets antérieurs. Mais le relief de l'isthme, les grands travaux qu'exigera sa coupure, et, il faut bien le dire, l'inconnu qui semble planer encore sur cette portion des gigantesques travaux projetés, conduisent à souhaiter vivement l'étude complète de ces localités, dont le choix serait un grand honneur pour M. Belly si elle devait confirmer les prévisions du rédacteur des devis. Quoi qu'il en soit, et dans la pensée des auteurs du projet, l'entrée de la baie serait resserrée, et celle-ci convertie en un port clos, au moyen d'une digue enracinée à la plage et construite avec les matériaux fournis par la grande tranchée projetée.

L'exploration du massif de l'isthme entre cette baie privilégiée et le lac de Nicaragua a été faite, sous l'impulsion du gouvernement de Costa-Rica, par l'ingénieur danois Œrstedt. On savait d'ailleurs, par le récit des Indiens employés au transport du sel dans cette contrée, qu'il existe des gorges profondes entre les collines qui séparent l'Océan du Rio-Sapoa. M. Œrstedt a dessiné le cours de cette rivière, mais seulement jusqu'au point où elle cesse d'être navigable; « il a reconnu, selon M. Thomé de Gamond, que les pla- « teaux calcaires, équivalents des formations jurassiques et dont la hau- « teur moyenne est de 160 à 180 mètres au-dessus du Pacifique, sont « interrompus en ce lieu sur 4 kilomètres de longueur par une multitude « de dépressions, qui sont les gorges signalées par les Indiens. La plus « basse de ces dépressions est le col de Salinas, dont le niveau est « situé à 40 mètres au-dessus du lac de Nicaragua, et à 78 mètres « au-dessus du Pacifique, résultat confirmé par l'ingénieur anglais Baily. »

« Tout le système des collines boisées qui ondulent entre le bassin de la

« Sapoa et le Pacifique a été exploré par M. F. Belly, et cette exploration a « eu pour résultat de le confirmer dans le tracé par le col de Salinas. »

« Nous avons réduit le tracé de ce petit canal, dit encore M. Thomé de « Gamond, à deux alignements partant du lac et du Pacifique, et réunis « sous l'incidence de 125 degrés, près du confluent du Rio-Rispero dans la « Sapoa. *Il est probable que l'étude complète du relief de l'isthme « déterminera l'adoption d'un plus grand nombre d'alignements.* »

Ici, nous devons le dire encore, le nuage de l'inconnu se montre sous des aspects quelque peu inquiétants au point de vue des difficultés des travaux à exécuter et des sommes qu'ils devront absorber ; mais nous devons dire en même temps que la grandeur du but, la fécondité du résultat et la marge considérable laissée par les chiffres rémunérateurs, peuvent autoriser la confiance qui anime les auteurs du projet.

La branche de Salinas, dans sa section d'amont, serait hypothétiquement donc profilée d'un seul bief sur une longueur de 12 kilomètres, selon le niveau même du lac, prolongé jusqu'au Rispero.

A partir du lac, le canal suit la vallée de la Sapoa, dont il emprunte le lit en se redressant sur six kilomètres. A ce point, le sol de l'isthme s'élève sensiblement jusqu'au sommet du col de Salinas, situé lui-même à six kilomètres du Pacifique. Au Rio de las Vueltas commencerait la grande tranchée au fond de laquelle sera tracé le canal. Cette tranchée, longue de dix kilomètres, atteint une hauteur de 40^{m}.00 au point culminant du col, et les déblais représentent 11,000,000 de mètres en roches argileuses et calcaires. La section d'aval, qui doit verser les eaux du lac dans la baie, commence au confluent du Rispero. La différence de niveau (38^{m}.00) est rachetée au moyen de six écluses à sas de 6^{m}40 chacune, reliées par cinq biefs de deux kilomètres.

Ici encore l'auteur de l'avant-projet, avec une bonne foi qu'il est juste de remarquer, loin de dissimuler tout ce que les conditions de tracé qu'il vient d'indiquer offrent de conjectural, prévoit des modifications, fruit d'une étude locale.

Le tirant d'eau du canal de Salinas sera réglé à 8^{m}.00 pour livrer passage aux frégates de premier rang et aux navires de 2,000 tonneaux, sur une largeur de 44^{m}.00 à la ligne d'eau et de 40^{m}.00 au plafond, le canal devant être muraillé sur les deux rives, tantôt en maçonnerie, tantôt en bois, avec un fruit de 2^{m}.00.

La masse du déblai pour le creusement du canal proprement dit, dans sa longueur de vingt-deux kilomètres, représente un volume de 7,400,000 mètres cubes.

Se préoccupant de la main d'œuvre, de la substitution du travail mécanique à celui des bras de l'homme, M. Thomé de Gamond emprunte à une belle étude de M. Michel Chevalier des chiffres rassurants sur le prix de revient des tranchées colossales à effectuer. M. Thomé de Gamond fait ressortir, par des considérations et des données qui semblent exactes, les ressources à peine limitées qui permettraient de réunir et de grouper dans les localités dont il s'agit jusqu'à quatorze mille travailleurs,

heureux de gagner un salaire de 1 fr. 50 à 1 fr. 80 par jour. Toutefois, et pour suivre l'exemple donné jadis par M. Garella, on a pris pour base du salaire des manœuvres la journée comptée à raison de 2 fr. 50. La journée des ouvriers appartenant aux divers corps d'état a été prévue à raison de 10 fr.

En comptant sur ces bases, l'auteur des devis arrive à évaluer ainsi qu'il suit les dépenses pour la branche de Salinas :

11, , mètres cubes en déblai à 2 fr. 50	27,500,000 fr.
7,400,000 mèt. cub. fouille du canal	18,500,000
Muraillement des parois, 340,000 mèt. superficiels à 10 fr.	3,400,000
Six écluses à sas	6,000,000
Total	55,400,000 fr.

L'attaque simultanée des travaux du canal de Nicaragua sur tous les points paraît très-possible à M. Thomé de Gamond; mais il constate que toutes les forces auront besoin d'être intelligemment concentrées et réparties sur la coupure de Salinas, pour que cette œuvre colossale puisse être menée à bonne fin dans un délai dont le minimum ne lui semble pas pouvoir être estimé au-dessous de trois années.

L'auteur du devis et de l'avant-projet comprend et remarque qu'en présence des recettes énormes assurées au canal projeté toutes les augmentations de dépenses, qui devraient avoir pour résultat d'activer les travaux, doivent être faites sans hésiter. « Qu'est-ce, dit-il, qu'une dépense d'une « vingtaine de millions de plus, quand il s'agit d'arriver à la possession « d'un revenu annuel dépassant le double de cette somme. »

Enfin, après avoir indiqué comme un stimulant d'activité le système des larges primes attribuées aux entrepreneurs, voici comment M. Thomé de Gamond résume les dépenses pour la création du canal de Nicaragua :

Travaux sur le lac de Nicaragua.	2,700,000 fr.
» Sur la branche orientale (fleuve San-Juan).	24,100,000
» Sur la branche occidentale (coupure de Salinas).	55,400,000
Constructions diverses, télégraphie, outillage spécial.	3,800,000
Frais d'administration pendant quatre ans.	4,000,000
Total des dépenses prévues.	90,000,000
Somme à réserver pour mécomptes, imprévus, primes, intérêts.	30,000,000
TOTAL DU CAPITAL A ENGAGER.	120,000,000 fr.

On pourrait remarquer que l'auteur de ces évaluations n'a pas affecté de prévisions aux travaux de port, tel que quais, docks, etc., qu'il faudra très-certainement exécuter à San-Juan ou Greytown, à ceux de même nature et plus importants encore que nécessitera le port de Salinas où tout est à créer. On pourrait enfin insister sur les inconnues de l'avant-projet.

Mais le moment de ces critiques de détail n'est pas venu encore, et elles

auraient d'ailleurs une portée assez réduite, tant que des données précises n'autoriseront pas à contester la possibilité d'exécution ou de réalisation de telles ou telles autres parties importantes du projet, en présence de ces évaluations qui, faites avec une bonne foi et une largeur incontestables, laissent dans la question les deux termes extrêmes que voici :

Cent millions à dépenser, cinquante millions à percevoir annuellement.

La marge reste grande assez, comme on le voit, et le chiffre des dépenses peut être doublé, sans que l'affaire devienne mauvaise au point de vue exclusif du financier, du capitaliste, de l'actionnaire.

D'ailleurs, Messieurs, conviendrait-il en ce moment et devant vous d'amoindrir ce beau projet, après que je me suis efforcé au début de mettre en relief la grandeur des considérations qui ont guidé tous ceux qui l'ont envisagé.

Si je n'avais hâte de finir, je pourrais avec le Prince Louis Napoléon en 1845, avec M. Belly en 1858, *supputer les gains de temps et de parcours* que la voie nouvelle doit procurer aux navires qui la suivront; mais il me suffira de vous renvoyer à la carte du monde jointe au livre de M. Belly, et au *tableau des distances comparatives des routes maritimes* qui l'accompagne. J'en vais citer quelques chiffres seulement :

	DISTANCES		Abréviations
	PAR NICARAGUA	PAR LE CAP HORN	
New-Yorck à San-Francisco. .	1,750 lieues	5,350 lieues	3,600 lieues
Bordeaux et Havre à Valparaiso	3,000 —	4,400 —	1,400 —
Havre à San-Francisco.	3,200 —	6,500 —	3,300 —
Londres à Yedo.	4,200 —	7,200 —	3,000 —

Ainsi M. Belly a pu dire avec raison dans sa *conclusion :* « La coupure « de l'isthme de Panama doit faire pour le cap Horn ce que la coupure de « l'isthme de Suez fait pour le cap de Bonne-Espérance. Le canal de Nica- « ragua est une création d'utilité publique au premier chef. »

« Pour nos grandes cités échelonnées sur l'Océan (Havre, Nantes, Bor- « deaux), comme pour celles de l'Espagne, du Portugal, de la Hollande, « c'est une voie ouverte à leur besoin d'expansion commerciale. Pour l'An- « gleterre, c'est une ligne droite, tirée de Southampton ou de Liverpool à « ses possessions australiennes. Pour les États-Unis, c'est la réduction des « deux tiers au moins entre New-York et la Californie. Pour la Russie, « c'est le seul passage libre qui puisse mettre ses établissements asiatiques « et américains sous la main de Pétersbourg.... Pour l'Europe enfin, « c'est un rapprochement de trois mille lieues du Japon, de la Chine et de « la Polynésie. »

Devant une question ainsi posée, il faut donc dire : *tout se réduit à démontrer la possibilité du canal;* celle-ci admise, il faut le faire.

Quant à choisir entre le tracé si grand, si large, si bien approprié aux besoins de l'Amérique centrale tout entière, du Prince Louis-Napoléon, de notre Empereur, et le tracé moins long de M. Belly, mais qui semble en revanche, plus exclusivement destiné à favoriser l'avenir de deux seulement des États centro-américains; entre ces deux tracés et un troisième qui diffèrerait de l'étude napoléonienne, seulement à partir du lac Managua, pour rejoindre le Pacifique par la baie de Fonseca, par exemple, en passant derrière la chaîne de Momotombo, les études définitives que MM. Belly et Thomé de Gamond se préparent à entreprendre peuvent seules y conduire.

J'ai rempli ma tâche, Messieurs, heureux si j'ai réussi à préparer vos esprits à l'étude d'un vaste et beau sujet.

M Laurens remarque qu'il s'agit, d'après l'exposé si lucide de M. Faure, d'une voie navigable, qui est partie en canal maritime, partie en canal à eau courante, et très-souvent en canal muni de sas à écluse; que, dans une sémblable situation, il serait de la plus haute importance de résoudre tout d'abord une question que les divers projets énumérés paraissent avoir complétement négligée: c'est de savoir ce que coûterait le travail mécanique indispensable du remorquage des navires du commerce, pendant cette traversée d'environ deux cents kilomètres canalisés. Ce remorquage exigerait un service spécial de bateaux à vapeur spéciaux. Ce sont des frais assez lourds, que le commerce devrait acquitter et ajouter au péage de 10 fr. par tonne, dont il a seul été parlé. Après avoir évalué ces frais de remorquage, dans lesquels on devrait comprendre ceux de la manœuvre des écluses, on pourra estimer la valeur commerciale des quarante jours de navigation qu'économiserait la coupure de l'isthme de Panama. Rien ne s'opposera à ce que l'on dresse les calculs sur les modes de remorquage et de moteurs les plus économiques.

On ne renverserait pas, dit M. Laurens, les objections qui précèdent, en leur opposant les navires mixtes, la navigation mixte. D'ici à peu de temps tous les navires de guerre des divers États seront des navires mixtes. Mais telle n'est pas, et telle n'est pas près de devenir, la situation de la marine marchande. J'ajouterai même que la machine à vapeur, que nous connaissons tous, ne me semble pas appelée à résoudre le problème de la navigation mixte économique, aussi économique qu'il serait nécessaire de l'obtenir pour qu'elle devînt un fait commercial usuel et universel.

M. Yvon Villarceau, s'appuyant sur les différences de niveau entre les deux océans indiquées par les nivellements qui ont servi de base au projet, exprime le doute que les opérations aient une exactitude suffisante.

M. Faure répond que les nivellements accusent, en effet, une différence de niveau de 2 mètres entre les deux océans. Il ajoute qu'une mission spéciale pour les opérations topographiques et les études définitives va être dirigée sur l'isthme.

M. Bergeron dit qu'on s'occupe activement, aux États-Unis, des chemins de fer des deux océans. Il croit que ces projets présentent des conditions favorables pour être exécutés avant le canal de Nicaragua.

M. Faure n'est pas de cet avis ; il considère comme aplanies les difficultés politiques qui entravaient le projet du canal. Les sympathies européennes ne sauraient lui faire défaut, parce qu'elles sont toutes intéressées à sa réalisation. Les États-Unis pouvaient seuls avoir sur cette question des intérêts plus ou moins distincts des intérêts européens, et il y a lieu de croire que le projet Belly est en train de rallier les sympathies du gouvernement des États-Unis.

M. Petiet regarde comme insuffisant le délai de trois années pour l'exécution des travaux, comparativement au temps qu'il a fallu pour le chemin de fer de Panama, dont les travaux sont insignifiants à côté de ceux du canal.

M. Faure répond que les travaux du chemin de fer de Panama ont dû présenter des difficultés et des lenteurs de même nature que celles réservées au projet de canal interocéanique, attendu que le chemin à travers l'isthme de Panama a dû traverser une contrée, non-seulement malsaine et inhabitée, mais, en outre, extrêmement accidentée et à reliefs très-considérables. Le canal, au contraire, sera compris entre les deux États de Costa-Rica et de Nicaragua, qui présentent une grande richesse de sol avec d'excellentes conditions de salubrité. Il est donc permis d'espérer que les conditions de l'exécution sont bien plus favorables pour le canal, si l'on réserve, toutefois, la coupure de Salinas, dont les travaux, au point de l'importance réelle et de la durée, ne sauraient être jugés qu'après une étude complète qui ne paraît pas complétement faite encore.

M. Petiet, au nom de la Société, remercie M. Faure de son intéressante communication, qui a saisi la Société d'une grande question, en lui faisant connaître son état d'avancement. Après avoir rendu justice à la belle exécution des études graphiques dues à M. Thomé de Gamond, M. Petiet exprime le désir que des études définitives permettent de discuter, sur des bases plus certaines, la partie technique du projet.

SÉANCE DU 18 FÉVRIER 1859

Présidence de M. Faure

M. le Président donne lecture d'une lettre de M. Barthélemy, membre de la Société. Par cette lettre, qui accompagne l'envoi d'une brochure inti-

tulée : *L'Opéra et le Théâtre de la Seine*, l'auteur propose de mettre à la disposition de ses collègues un certain nombre d'exemplaires de cette étude sur la construction nouvelle de ces deux salles.

M. le Président dépose sur le bureau plusieurs exemplaires d'une lettre circulaire écrite par M. Henri Robert. Ce mécanicien distingué, bien connu par ses travaux en horlogerie, s'est occupé de la construction de divers appareils destinés à représenter et à faire comprendre divers mouvements astronomiques.

Les appareils conçus et exécutés par M. H. Robert sont appelés à rendre et ont rendu déjà des services très-appréciés par ceux qui s'occupent d'études cosmographiques; ils mettent en évidence, au moyen de combinaisons mécaniques essentiellement ingénieuses et très-remarquablement réalisées, certains phénomènes de mouvements relatifs, en même temps qu'ils expliquent les mouvements apparents qui constituent divers problèmes intéressants, mais toujours difficiles à faire comprendre dans l'enseignement de la cosmographie.

M. Robert se propose d'organiser quelques conférences dans lesquelles il donnera la démonstration de ses appareils cosmographiques, et il invite ceux que ce sujet pourrait intéresser à choisir entre certains jours et heures qu'il indique. M. le Président croit pouvoir promettre à ceux qui répondront à l'appel de M. Robert une satisfaction réelle.

Il est ensuite donné lecture d'une lettre par laquelle M. Edmond Roy, membre de la Société, lui fait connaître que, par suite du bienveillant patronage de S. M. l'Empereur, M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, a alloué une subvention à la Compagnie d'Orléans, dans le but de faciliter l'expérimentation en grand du système de matériel roulant propre à M. E. Roy. La Compagnie d'Orléans va construire sur ce système une locomotive et dix wagons; ce matériel d'expérimentation sera construit dans les ateliers d'Ivry, avec le concours de M. Polonceau.

Après quelques détails relatifs aux expériences déjà faites avec un wagon construit sur le système E. Roy, et qui a parcouru 4,500 kilomètres pendant l'année 1858, l'auteur rappelle avec gratitude que la Société des ingénieurs civils a pris l'initiative de publication du système qui va enfin recevoir une expérimentation complète.

En remerciant M. E. Roy pour cette communication, M. le Président dit que la Société apprend avec un plaisir sympathique la bonne nouvelle qui vient de lui être donnée. Il rappelle ensuite les idées de M. Roy : ses dessins et ses modèles ont occupé la Société à plusieurs reprises; elle sera donc heureuse de penser que son initiative n'a pas été sans influence sur l'avenir du système ingénieux de M. Roy, et elle espère que son auteur continuera à la tenir au courant des résultats d'une expérimentation pleine d'intérêt, puisqu'elle tend à la solution si désirée d'un matériel roulant propre aux chemins à courbes de petits rayons.

L'ordre du jour appelle une communication de M. Richoux. Avant d'aborder le sujet qu'il doit traiter, M. Richoux rappelle qu'il a déjà entretenu la Société au sujet d'un procédé de préparation et de pénétration des bois au

moyen du sulfate de cuivre employé par MM. Legé et Fleury-Pironet.

A l'époque où il a fait cette communication, M. Richoux a cru voir quelques doutes dans l'esprit de certains ingénieurs sur les résultats qu'elle signalait ; appelés depuis à les vérifier au moyen d'un appareil d'essai, ils ont pu constater leur parfaite exactitude ; mais il restait à savoir si les essais en grand auraient le même succès. M. Richoux annonce que les expériences faites dans ces nouvelles conditions ont été des plus concluantes, en confirmant de tous points les espérances qui étaient résultées des premiers essais. Il présente plusieurs échantillons, dans lesquels la pénétration est aussi complète qu'on pouvait le désirer ; il indique enfin que le prix de la préparation des bois, par ce nouveau procédé, est de 7 à 8 francs, tandis que par le procédé Boucherie il s'élève à 13 et 14 francs.

M. Richoux lit ensuite une note analytique au sujet d'un second mémoire de M. Curtel sur la fabrication des rails. Comparant les idées émises par ce dernier avec celles qui ont été publiées par d'autres ingénieurs, M. Richoux entre dans des détails de fabrication qui seront reproduits dans notre bulletin avec les observations critiques qui se rapportent au sujet traité dans le travail de M. Curtel.

M. le Président remercie M. Richoux de sa communication.

Avant de donner la parole à M. Guillaume pour la lecture d'un résumé analytique du mémoire de M. le préfet de la Seine sur les eaux de Paris, M. le président croit devoir rappeler que M. Callon, en octobre 1857, a rendu compte à la Société d'un mémoire de M. Belgrand sur le régime de divers cours d'eau, en lui faisant connaître les très-intéressantes conclusions auxquelles cet ingénieur distingué a été conduit par ses études hydrométriques et géologiques, notamment en ce qui concerne les variations de niveau de la Seine et de ses affluents.

Déjà en avril 1857, M. Trélat avait discuté plusieurs projets relatifs à l'assainissement de Paris ; et, le 16 octobre de la même année, il faisait ressortir devant la Société par une analyse des plus intéressantes l'importance d'un premier Mémoire publié par M. le préfet de la Seine sur les Eaux de Paris à la fin de 1854. On se rappelle que ce document administratif avait pour but de faire connaître les belles études faites par M. Belgrand dans le but de rechercher quelles sont les eaux de source qui pourraient être amenées à Paris, et l'avant-projet auquel elles avaient conduit. Il suffit de redire ces antécédents pour faire comprendre, au besoin, que la Société, saisie déjà de l'étude des grandes questions relatives aux eaux de Paris, ne veut et ne doit pas rester indifférente à ce grand sujet. Aussi et lorsqu'est apparu dans le *Moniteur* de janvier dernier le beau Mémoire de M. le préfet de la Seine, qui expose d'une manière complète le projet définitif étudié par M. Belgrand, sur les données indiquées en 1854, votre Président a regardé comme un devoir étroit de provoquer la Société à un examen approfondi de ce document, qui, par son importance et son étendue, aussi bien que par la grandeur des vues, des idées et des solutions qui y sont indiquées, doit intéresser au plus haut point tous ceux que pré-

occupent les grands travaux hydrauliques. M. le Président a donc fait appel au dévouement de l'un des secrétaires, M. Guillaume, qui, de son côté, sans mesurer les quelques jours qui lui étaient seuls laissés pour la remplir, a bien voulu accepter la tâche proposée. Selon M. le Président, la discussion à laquelle doit donner lieu l'analyse qui va être lue ne doit pas commencer aujourd'hui, par cela même qu'il importe que cette discussion soit plus mûre et plus sérieuse; tous les membres de la Société, et le nombre en est grand, qui peuvent apporter dans cette discussion un contingent de lumières et de notions utiles dues à des études, à des travaux antérieurs plus ou moins analogues à ceux qui font l'objet du Mémoire de M. le préfet de la Seine, doivent à la Société et à eux-mêmes peut-être de prendre part à cette discussion, dans laquelle la critique, au besoin, pourra trouver place, parce que l'éloge justement acquis et donné à un travail des plus remarquables laissera toujours à l'aise ceux qui auraient à présenter des vues, des données, des solutions différentes.

M. Guillaume donne lecture de son résumé :

Le Mémoire de M. le préfet de la Seine comprend six chapitres, qui embrassent l'ensemble des dispositions arrêtées pour la dérivation des eaux, leur distribution et le système des égouts.

Observations préliminaires.

Les immenses travaux accomplis dans l'antiquité pour la conduite et la distribution des eaux de Rome sont décrits avec quelque détail dans le Mémoire de M. le préfet de la Seine. On ne pouvait choisir un exemple plus capable d'exciter l'émulation et de faire concevoir des vues élevées sur l'ensemble des travaux qui sont nécessaires pour assainir une grande capitale.

D'après Frontin, curateur des eaux sous Néron et Trajan, neuf dérivations en aquéducs couverts, de 418 kil. de longueur, dont quarante-neuf sur arcades, amenaient chaque jour à Rome 1,488,000 m. c. d'eau pour une population qui n'est pas exactement connue aujourd'hui, mais que les évaluations modernes les plus larges estiment à 1,200,000 âmes; c'était donc au moins 1,200 litres par habitant. Cette masse d'eau équivaut à neuf fois le débit total du canal de l'Ourcq; elle est à peu près égale à celui de la Marne en été.

Aujourd'hui encore, la ville de Rome use de quelques-uns des vieux aquéducs restaurés, exhaussés ou complétés. Les trois dérivations qui subsistent donnent ensemble plus de 180,000 m. c. pour une population de 170,000 habitants, soit 1,060 litres par tête.

Ainsi, dit M. le préfet, ni la capitale de la France, ni celle de l'Angleterre, ne peuvent comparer, même de loin, leurs richesses en eaux publiques à celles qu'avaient réunies les anciens Romains, à celles même qui ont été recueillies, comme débris d'héritage, par leurs successeurs.

Le volume d'eau dont Paris dispose actuellement est de 133,000 m. c. seulement par jour, savoir :

1° Canal de l'Ourcq.	110,000
2° Pompes à feu de Chaillot, du Gros-Caillou et du pont d'Austerlitz.	20,000
3° Sources de Belleville et des Prés-Saint-Gervais. . . .	500
4° Sources de Rungis dérivées par l'aquéduc d'Arcueil . . .	1,600
5° Puits de Grenelle.	900

Soit 123 litres par individu pour une population de 1,200,000 âmes.

Cette eau n'arrive en général qu'à une hauteur insuffisante ; un cinquième de la ville est inaccessible à l'eau de l'Ourcq ; et, sur les quatre autres cinquièmes, deux seulement peuvent recevoir cette eau au niveau des étages supérieurs des maisons.

L'eau d'Arcueil, celle des sources du Nord et surtout celle du puits de Grenelle ont plus d'élévation que l'eau de l'Ourcq ; mais le volume en est si peu considérable qu'on n'en saurait tenir aucun compte pour alimenter les trois autres cinquièmes de la surface de la ville, qui comprennent la moitié de sa population. Quant à l'eau de la Seine, le volume actuel en est également insuffisant.

Une augmentation de 100,000 m. c. d'eau saine, pure et fraîche, portant de 123 à 215 litres le contingent moyen de chaque habitant, a paru suffisante pour compléter la distribution actuelle. Cette eau doit pouvoir être amenée à l'altitude de 80 mètres au moins au-dessus du niveau de la mer.

Cela posé, M. le préfet discute les moyens dont on peut disposer pour amener ce volume d'eau à cette hauteur. Ces moyens sont au nombre de trois : les machines hydrauliques, les machines à vapeur, la gravité.

On avait proposé l'emploi des turbines d'abord en établissant un barrage spécial en Seine, puis en utilisant le barrage de la Monnaie. Ce système est repoussé par le motif que le travail moteur de ces turbines serait presque nul pendant les crues, et qu'il serait nécessaire pour assurer la distribution d'organiser en outre un service de machines à vapeur, pouvant au besoin élever la masse totale des eaux demandées au fleuve.

Les machines à vapeur sont également écartées, en prenant pour exemple les nouvelles machines de Chaillot, où des accidents nombreux ont failli bien souvent interrompre le service. On serait conduit, pour être à l'abri de ces accidents, à avoir un nombre de machines au moins double de celui dont le travail incessant est indispensable. Pour élever les 100,000 m. c. aujourd'hui nécessaires, il faudrait neuf machines de cent chevaux, qui devraient être doublées par une seconde ligne de neuf autres machines ou même par une troisième ligne semblable, si, comme à Chelsea, on jugeait utile de tripler le nombre des appareils.

Le second inconvénient qu'on oppose aux appareils élévatoires à vapeur, c'est d'exiger une dépense journalière très-considérable.

« Lorsqu'une nation, une grande cité, veut pourvoir à l'un de ces be-
« soins publics qui sont également impérieux dans toutes les vicissitudes

« de sa destinée, dans la prospérité comme dans les revers, s'il se présente « deux moyens praticables : l'un réclamant tout d'abord des frais élevés et « un puissant effort, mais ne chargeant l'avenir lointain que d'une faible « dépense d'entretien et d'une médiocre sollicitude ; l'autre, moins dispen- « dieux au début, mais grevant chaque année, chaque jour, d'un lourd far- « deau financier et de soins multipliés et attentifs. Cette nation ou cette « cité ne peut hésiter à préférer le premier moyen, pour peu qu'elle ait la « conviction de sa propre durée, le souci de sa gloire et le sentiment de « ses devoirs envers les générations à venir. »

Outre les inconvénients particuliers à l'un ou à l'autre système des machines, l'eau de la Seine, même en amont du confluent de la Marne, ne réunirait pas les qualités qui paraissent essentielles, et qu'on ne saurait lui donner ; le filtrage, en effet, rendrait à l'eau sa limpidité, mais il ne la dégagerait pas des substances hétérogènes qui y sont dissoutes, et il n'en pourrait changer la température.

M. le préfet s'arrête donc au système de dérivation de sources par un aquéduc, système qui a servi de base au projet définitif de M. l'ingénieur en chef Belgrand.

Etudes définitives.

Les recherches de sources présentant les conditions convenables de qualité, de volume et d'altitude, se sont étendues à l'ensemble du bassin de la Seine. Elles ont été rendues très-rapides par l'emploi de l'appareil d'analyse hydrotimétrique de MM. Boutron et Boudet. Les résultats donnés par cet appareil pour les eaux actuelles de Paris sont les suivantes :

Eau de Grenelle	9 à 11	degrés.
— de Seine	17 à 20	—
— d'Ourcq	» 31	—
— d'Arcueil	» 37.5	—
— des Prés Saint-Gervais. .	» 76	—
— de Belleville	» 155	—

Il est résulté des expériences de M. Belgrand que l'eau qui, à sa source, ne marque que 18 degrés au plus à l'hydrotimètre ne perd dans son cours aucune partie des sels calcaires qu'elle contient ; au-delà de ce degré, l'eau devient incrustante, et ce défaut s'accroît rapidement à mesure que la proportion des sels calcaires augmente. Cette limite de 18 degrés est également convenable au point de vue de la salubrité des eaux.

Il y a donc lieu de fixer à 18 degrés le maximum hydrotimétrique des eaux de sources à dériver vers Paris.

Le bassin de la Seine, dont Paris occupe à peu près le centre, comprend les trois étages jurassique, crétacé et tertiaire, composés chacun d'un certain nombre de couches perméables et imperméables.

Les eaux qui tombent sur les terrains perméables ne demeurent point à la superficie ; elles gagnent les couches inférieures, et y forment des nappes souterraines, qui n'arrivent à la surface qu'en un petit nombre de points

situés au fond des vallées, là où le sol s'abaisse au-dessous du niveau de la nappe, en donnant naissance à des sources abondantes et intarissables.

Celles que reçoivent les terrains imperméables, au contraire, coulent rapidement à la surface de ces terrains, dans tous les plis qu'ils présentent, et forment ainsi une multitude de sources torrentielles, que la moindre pluie gonfle et trouble, que la moindre sécheresse fait tarir.

Si la couche perméable est de peu d'épaisseur, son influence régulatrice se fait peu sentir, et le régime des sources tient le milieu entre ces deux termes extrêmes.

Il fallait donc chercher dans les couches perméables les plus puissantes quelques grandes sources, de qualité homogène, de volume constant.

Les sources de la craie et des terrains jurassiques remplissent seules ces conditions. Celles du terrain jurassique étant mises de côté à cause de leur éloignement, les recherches devaient être circonscrites à la zône, encore très-vaste, limitée par l'affleurement du terrain crétacé.

Les grandes sources de la craie ajoutent de puissants rameaux à chacune des branches maîtresses du fleuve; l'Yonne, la Seine proprement dite, l'Aube, la Marne, l'Aisne et l'Oise.

Des considérations relatives au tracé de l'aquéduc ont fait écarter les sources de l'Aisne et de l'Oise. Restaient donc celles de la Seine avec ses affluents, l'Yonne et l'Aube, et celles de la Marne, les deux seules rivières qui, au sortir du terrain crétacé, se dirigent presque en droite ligne sur Paris.

Dans le premier groupe, les sources de la Vanne pouvaient être dirigées par la vallée de l'Yonne et la vallée de la Seine; dans le second, celles de la Somme-Soude pouvaient être dérivées par la vallée de la Marne.

Une dernière comparaison a fait donner la préférence au second groupe, qui donne les eaux les plus pures, pouvant d'ailleurs arriver au point le plus élevé et le plus convenable pour la distribution.

Mais avant de prendre un parti définitif, on a voulu s'assurer que les terrains tertiaires plus voisins de Paris ne contenaient pas des sources équivalentes et plus faciles à dériver.

A l'exception de quelques sources que reçoit le Loing, et qui eussent pu apporter leur contingent à la dérivation de la Vanne, les eaux du terrain tertiaire, dans la vallée de la Seine, sont ou altérées par la tourbe, ou trop calcaires ou séléniteuses, ou enfin d'un volume insuffisant et irrégulier.

Dans la vallée de la Marne, au contraire, le Sourdon, l'une des sources du Cubry, dont le degré hydrotimétrique est 20 ou 21 degrés, pourra verser 8,640 m. c. par 24 heures dans l'aquéduc de la Somme-Soude. Plus près de Paris, la Dhuis, affluent du Surmelin, mesurant 23 degrés, ajoutera 23,000 m. c. à ce volume, sans que le mélange dépasse la limite hydrotimétrique admise en principe.

Projet de l'aquéduc de dérivation.

Il ne s'agit pas d'introduire purement et simplement dans un aquéduc de dérivation les eaux de la Somme-Soude. On n'éviterait pas ainsi les incon-

vénients qui doivent faire écarter de la consommation les eaux de rivière. La région très-perméable que sillonnent les vallées de la Somme et de la Soude recouvre une nappe d'eau continue. Toute dépression de terrain assez profonde pour entamer le niveau de cette nappe en fait jaillir des sources plus ou moins abondantes. Pour se procurer des eaux aussi pures qu'abondantes dans les vallées de la Somme et de la Soude, il suffira donc de creuser, à quelque distance, des tranchées ou des tunnels jusqu'au sein de la nappe d'eau qui s'étend sous le pays entier, et de créer ainsi, par ce drainage énergique, des sources artificielles qui seront dirigées à l'origine de l'aquéduc de dérivation. Les quantités d'eau qui seront ainsi recueillies ne peuvent être mesurées d'avance; mais il y a toute probabilité que ces contrées, si sèches à la surface, alors qu'elles renferment intérieurement un lac d'eau excellente, fourniront, sans qu'on doive voir diminuer sensiblement les rivières, tout ce qu'exige la consommation parisienne.

Le débit des sources de la Somme et de la Soude ne saurait donner en aucune façon la mesure de la puissance du réservoir commun. Ces sources n'épanchent, en effet, que les filets supérieurs qui s'en échappent, et leur volume n'est qu'un indice bien insuffisant des quantités d'eau qu'un drainage profond peut en faire écouler.

D'après les observations faites sur l'ensemble du bassin de Paris, on peut présumer qu'à l'époque des jaugeages, en octobre 1855, les eaux de la Somme-Soude étaient à peu près au point le plus bas qu'elles atteignent, si ce n'est une fois ou deux par siècle. Or, isolément jaugées, les seules sources éparses le long du cours des deux rivières depuis Somme, Sous et Soude jusqu'à Conflans, débitaient ensemble 100,742 m. c. par 24 heures. Certainement si l'on avait pu pénétrer, par un profond drainage, au sein même de la nappe souterraine, on eût obtenu des quantités d'eau bien plus considérables, et constaté la possibilité d'emprunter l'alimentation de Paris à cette nappe, non-seulement sans l'épuiser, mais encore sans l'atténuer très-sensiblement.

Les sources de la Somme et de la Soude se sont mal défendues contre la continuation de la sécheresse en 1858; les plus hautes se sont taries, celles d'aval ont été considérablement appauvries.

Les sources qui ont cessé de couler montrent l'eau à fleur de terre; elles accusent ainsi le niveau de la nappe, qui a baissé de $0^m.80$. Ce fait prouve qu'en pratiquant dans les vallées de la Somme et de la Soude, pour les prises d'eau de la dérivation, des tranchées dont la profondeur sera calculée d'après l'expérience de 1858, on pénétrera la nappe en un point peu éloigné du sol, où nulle sécheresse ne la pourra tarir.

Si l'on voulait se contenter, d'ailleurs, de dériver une portion seulement, par exemple la moitié, de ce que débitent, à l'étiage, les sources dont la réunion à Conflans forme la Somme-Soude, des auxiliaires sont ménagés par le projet de dérivation dans d'autres sources reconnues aux environs ou sur le passage de l'aquéduc marchant vers Paris. Ce sont, d'abord, près du village des Vertus, les sources de la Berle, affluent de la Somme-Soude, dont le débit, mesuré en 1857, a été trouvé égal à 14,000 m. c. d'eau par

24 heures; puis le Sourdon, dont la source jaillit, près de Saint-Martin d'Ablois, d'un amas de meulières que supportent des couches d'argile et de marne verte où n'apparaît pas le gypse: ses eaux marquent 20 à 23 degrés à l'hydrotimètre, et coulent avec une abondance de 8,000 à 9,000 m. c. par 24 heures;

Enfin la Dhuis, qui débite 28,000 à 35,000 m. c. par 24 heures; son eau marque 23 degrés à l'hydrotimètre; mais elle peut encore former, avec celle de la vallée de Somme-Soude, de la Berle et du Sourdan, un mélange convenable, dont l'indication hydrotimétrique moyenne oscillerait entre 17 et 18 degrés. Quant à la température, elle serait constamment comprise entre 10 et 12 degrés.

Nous arrivons à la description des travaux qu'exigera cette grande dérivation.

Des aquéducs de prise d'eau seront construits latéralement à la Somme, à la Soude, et aux petits affluents, le ruisseau du Mont et le Popelet; puis au ruisseau des Vertus, au Sourdon et à la Dhuis; et enfin, selon les besoins, à la Coole et à la Vaure. Le développement de ces ouvrages atteindra 70,000 mètres.

L'aquéduc proprement dit aura, depuis le point où se réuniront les aquéducs de prise d'eau jusqu'à son point d'arrivée à Paris sur les hauteurs de Belleville, une longueur de 183,294 mètres.

L'aquéduc s'étendra constamment en tranchée ou en souterrain, et enterré d'un mètre au minimum. A la traversée des vallées, il sera porté sur des arcades lorsque la hauteur de ces arcades ne devra pas excéder 10 mètres. Pour franchir les vallées plus profondes, on emploiera des siphons.

A partir de son point de départ, l'aquéduc se dirige au nord-ouest à travers les plateaux crayeux de la Champagne, dont il perce en souterrain les longues collines, pour aller joindre les coteaux tertiaires de la Brie sur le versant gauche de la vallée de la Marne, aux environs d'Épernay, après avoir franchi le col de Cramant par un souterrain de 4,405 mètres en pleine craie. Il traverse ensuite le Cubry par un siphon de 765 mètres, et reçoit sur l'autre versant les eaux du Sourdon. De ce point, il suit la rive gauche de la Marne, à mi-coteau, au-dessus du chemin de fer de Strasbourg. Mais peu après l'entrée de l'aquéduc dans le département de Seine-et-Marne, on rencontre plusieurs promontoires qui obligent à quitter le coteau et à établir plusieurs souterrains. A Chalifert, l'aquéduc traverse la Marne, et suit le plateau de la rive droite jusqu'à son arrivée au réservoir de Belleville.

La longueur totale de l'aquéduc se décompose comme suit :

En tranchée.	141,316.^{m}15
En souterrain	28,547. 60
Sur arcades.	6,123. 90
En siphon.	7,306. 20
Total.	183,293. 85

Le nombre des souterrains sera de.	30
Id. des passages sur arcades de.	13
Id. des siphons.	11
Id. des ponts.	17

De son origine, à Conflans, jusqu'à l'embouchure de la conduite de la Dhuis, la galerie aura 1m 50 de largeur, et 2m 10 de hauteur. De ce point à Paris, elle aura une section circulaire de 2m 10 de diamètre. Les siphons se composeront de deux conduites en fonte de 1m 00 de diamètre dans la partie supérieure, et 1m 06 dans la partie inférieure.

La pente de l'aquéduc sera de 0m 10 par kilomètre.

La pente de charge pour les siphons est évaluée à 0m 66 par kilomètre.

Il suit de là que le plan d'eau, qui sera à la cote 106m 38 à Conflans, descendra de 18m 06 dans les 175.987m 65 d'aquéduc à air libre, et de 4m 82 dans les 7,306m 20 de siphons ; ce qui donne une pente de charge totale de 22m 88, et une altitude finale, à l'arrivée au réservoir, de 83m 50, dépassant ainsi de 32 mètres le niveau des eaux du canal de l'Ourcq au bassin de la Villette, et de 8m 20 les réservoirs supérieurs de Passy.

La dépense de ce grand ouvrage est évaluée à 26 millions de francs, soit environ 104,700 francs par kilomètre, comprenant :

Pour travaux.	18,824,700 fr.
Pour indemnités d'expropriation d'une zône de 10 mètres et somme à valoir. . .	7,175,300
Total.	26,000,000
Ce chiffre de prévision a été porté à. . .	30,000,000

sur l'avis du conseil général des ponts et chaussées.

Distribution des eaux anciennes et nouvelles.

Il y a à faire une remarque très-importante : c'est que le projet a pour but unique de desservir l'enceinte actuelle de Paris, et que le jour où la ville s'étendrait jusqu'aux fortifications, en doublant sa surface, en ajoutant à sa population quatre cent mille âmes dès aujourd'hui, un million peut-être avant la fin du siècle, un supplément considérable d'alimentation, à une toute autre altitude, deviendrait évidemment nécessaire.

Or, nous sommes à la veille de voir réaliser cette hypothèse, pour laquelle on prévoit que la dérivation de la Vanne deviendra à son tour indispensable; et encore la distribution laisserait à sec quelques sommets de la zône excentrique, notamment celui de la butte Montmartre, qui s'élève à 129 mètres; celui du plateau de Belleville, qui monte à 128 mètres; celui du contrefort de Gentilly, qui arrive à 76. Aussi est-il indiqué éventuellement qu'on pourrait, pour desservir ces localités, dériver la Dhuis et le Sourdon à une plus grande hauteur par un aquéduc spécial, ou même recourir aux sources, bien plus éloignées, du terrain jurassique.

En se bornant donc à l'enceinte actuelle, Paris recevra après l'exécution des travaux un volume d'eau total de 208,000 m. c. par 24 heures, savoir :

Par l'aquéduc de dérivation	100,000 m. c.
Par le canal de l'Ourcq.	105,000
Par les sources du Nord et de Rungis et du puits de Grenelle.	3,000

Les eaux de la nouvelle dérivation seront consacrées aux usages domestiques et industriels, jusqu'à concurrence des besoins ; et, pour le surplus seulement, au service public des quartiers élevés, inaccessibles aux eaux des autres provenances.

Il est évident que cette division du service exige deux réseaux parallèles de conduites. Mais comme la distribution actuelle est beaucoup plus étendue que ne le comporterait le service public, on pourra mettre de suite les nouvelles eaux en possession de la plus grande partie de ces conduites, en attendant, pour compléter le réseau, les exigences progressives du service particulier.

On ne peut ajourner toutefois l'exécution des réservoirs. Ils seront au nombre de trois : celui de Belleville, pouvant contenir 100,000 m. c. d'eau à la cote de $83^{m}.50$; celui de Montrouge, ayant la même capacité, mais dans lequel l'eau ne s'élèvera qu'à $80^{m}.00$ à cause de la pente de charge qu'il faut compter pour la conduite qui réunira l'un à l'autre. Le troisième existe déjà à Passy : il contient 25,000 m. c. d'eau à la cote de 72 m. et 12,000 m. c. à la cote de $75^{m}.00$; il sera affecté pour 32,000 m. c. aux eaux nouvelles, et, pour le surplus, aux eaux du puits artésien de Passy, et éventuellement à la pompe à feu de Chaillot.

Je n'entrerai pas dans le détail du réseau des nouvelles conduites à poser dans un avenir plus ou moins éloigné pour compléter le système de distribution double qui vient d'être indiqué, et qui comprendra :

1° *Pour les eaux du service particulier :*

Conduites principales et secondaires $1^{m}.10$ à $0^{m}30$. .	100,500 m.
Conduites de distribution de $0^{m}.20$ à $0^{m}.10$. . . .	429,500
Ensemble. . .	530,000

2° *Pour les eaux du service public :*

Conduites principales et secondaires.	75,200 m.
Conduites de distribution.	152,800
Ensemble. .	228,000
Et pour les deux services.	758,000

Les dépenses sont évaluées en résumé comme suit :

Réservoirs des buttes Chaumont et de Montrouge. .	3,800,000 fr.
Travaux de distribution immédiatement nécessaires et frais imprévus.	6,200,000
Ensemble. . .	10,000,000
Et pour les travaux ultérieurs.	8,000,000
Total général pour l'ensemble de la distribution. .	18,000,000

Canalisation souterraine de la ville.

Les inondations de surface qui se produisent après chaque pluie d'orage dans les quartiers bas de la rive droite démontrent l'insuffisance de débouché des égouts du réseau actuel, et surtout du collecteur, dit de ceinture, établi sur l'ancien ruisseau de Ménilmontant.

Pour les nouveaux égouts on a admis un débouché de 2 à 3 mètres pour 100 hectares de bassin à desservir. Ce chiffre a été fixé en prenant pour base la pluie d'orage du 8 juin 1849 qui, en une heure, a versé sur la ville une couche d'eau de 45 millimètres; on a admis qu'en raison des obstacles qui s'opposent à son écoulement, cette eau devait être débitée en trois heures par les égouts.

Mais les nouveaux collecteurs de la rive droite devant nécessairement créer des barrages sur la nappe d'eau souterraine qui inonde périodiquement les caves des quartiers nord de Paris, on a jugé qu'il était indispensable de ménager une issue à cette nappe d'eau par des ouvertures pratiquées dans les piédroits desdits égouts. (Cette solution a été indiquée depuis longtemps dans un mémoire de M. Vuigner, lu à la Société des ingénieurs civils.) En conséquence, une conduite en maçonnerie de ciment sera pratiquée sous la banquette des égouts collecteurs, et de nombreux tuyaux de drainage y porteront le trop plein de la nappe, sans que les eaux sales puissent s'infiltrer dans le sol.

Les crues de la Seine apportent aussi, dans l'état actuel, un obstacle à l'écoulement des eaux d'égout. C'est pour éviter cet inconvénient qu'on a entrepris le grand collecteur général qui débouche à Asnières, en profitant de la pente de 1m.70 que présente la Seine entre ce point et le pont de la Concorde. Ce collecteur recevra aussi les eaux des égouts de la rive gauche, au moyen d'un double siphon en tôle de 1m.00 de diamètre passant d'une rive à l'autre, dans le lit du fleuve, à 2m.00 au-dessous des basses eaux. Les collecteurs secondaires continueront à être en communication avec la Seine par diverses galeries transversales, et principalement par celle du boulevard de Sébastopol; mais ces communications seront, en temps de crue, interceptées par des portes de flot.

Enfin, diverses dispositions permettront d'effectuer souterrainement les vidanges, au moyen des communications qui, aux termes du décret du 26 mai 1852, doivent être établies entre les maisons et l'égout le plus voisin.

Deux systèmes sont ici en présence :

Ou les fosses d'aisances seront supprimées, et les tuyaux de descente reliés directement avec des conduites spéciales posées dans les égouts; des pompes à vapeur, agissant par aspiration sur l'ensemble de ces conduites, refouleraient les matières débitées dans des réservoirs éloignés, pour qu'elles y fussent traitées et offertes à l'agriculture;

Ou l'on emploiera des appareils séparateurs, qui ne laisseront arriver à

l'égout que des eaux vannes, préalablement dépouillées de leurs principes fertilisants, et rendues ainsi aussi inoffensives qu'inutiles; les résidus solides, dont le volume est très-restreint, seraient enlevés souterrainement par des wagons circulant dans les galeries principales. On enlèverait de la même manière les détritus solides, qui, au lieu d'être déposés sur la voie publique, seraient jetés par une trémie dans la galerie de communication indiquée plus haut.

Le second système éviterait les inconvénients de ces réservoirs, plus grands encore et tout aussi désagréables que ceux de Bondy. Aussi devra-t-on lui donner la préférence, si les essais qui se poursuivent pour arriver à l'épuration des eaux vannes conduisent à un résultat satisfaisant.

L'eau de chaux n'aurait, paraît-il, qu'une efficacité incomplète; on espère mieux des sels de magnésie qu'on emploie depuis quelque temps dans le traitement des vidanges des Halles Centrales.

Quoi qu'il en soit, le projet des égouts est disposé pour s'appliquer à l'un et à l'autre système. Des conduites en ciment seront partout établies dans l'épaisseur de l'un des piédroits ou sous l'une des banquettes; et les fosses d'aisances des maisons riveraines communiqueront, d'une part, avec ces conduites au moyen de tuyaux; d'autre part, avec la galerie d'égout, par l'embranchement exécuté conformément au décret de 1852.

Les avant-projets dressés par les ingénieurs du service municipal, pour la canalisation normale de Paris, comportent la construction de 56,442 mètres d'égouts de grande et de moyenne section, de divers types, et de 232,890 mètres d'égouts de petite section, soit en tout, 289,332 mètres. Ne sont pas compris dans cette évaluation, d'une part, 11,100 mètres d'égouts existants, dont le radier devra être relevé pour qu'ils puissent se déverser dans les collecteurs; d'autre part, 80,000 mètres de petits égouts, que demanderont un jour, à mesure de l'accroissement de la population, des parties de la ville aujourd'hui presque désertes.

Le développement total des égouts existants, qui seront tous maintenus, à peu d'exceptions près, étant de 170,000 mètres, l'ensemble de la canalisation aura un développement total de 540,000 mètres. La longueur totale des voies publiques n'est que de 423,000 mètres; mais plusieurs des égouts projetés doivent desservir des voies publiques non encore ouvertes; d'ailleurs, les plus larges seront pourvues de deux lignes d'égouts.

L'exécution complète de tout ce réseau ne coûterait pas moins de 50 millions; mais il y a à déduire de cette somme 9,600,000 fr., qui sont applicables aux galeries souterraines des nouvelles voies publiques à ouvrir dans Paris, conformément au traité entre l'Etat et la Ville. En outre, on propose de mettre à la charge des propriétaires, en compensation de la réduction des frais de vidange, et par application du titre VII de la loi du 16 septembre 1807, une partie des frais de construction des galeries dont l'exécution n'est pas indispensable au point de vue du service public. Cette part contributive est évaluée à 20,000,000 fr.

Dans tous les cas, il y a lieu de faire deux parts des travaux d'égout qui restent à prévoir :

Ceux dont l'exécution est urgente et qui ont un caractère spécialement municipal ne coûteront que. . .	10,000,000 fr.
Les autres, qui sont plutôt des égouts privés que des égouts publics, exigeront une dépense évaluée à. .	30,400,000
Ensemble.	40,400,000

Voies et moyens.

En rapprochant les divers chiffres qui résument les dépenses nécessaires, tant pour la dérivation des nouvelles eaux des sources que pour les réservoirs, conduites et égouts, on trouve les résultats suivants :

Dépenses de première urgence.

Aquéduc de dérivation	30,000,000 fr.
Réservoirs et conduites	10,000,000
Galeries d'égout, déduction faite d'une contribution de 2,000,000 fr., à imposer aux propriétaires riverains.	8,000,000
Ensemble	48,000,000

Dépenses ultérieures.

Achèvement de la distribution des eaux	8,000,000
Achèvement du réseau d'égouts, déduction faite d'une contribution de 18,000,000 fr., comme ci-dessus. .	12,400,000
Total général	20,400,000

Quant à l'ensemble du projet, les estimations précédentes donnent le résultat suivant :

Dépenses à la charge de la ville	68,400,000 fr.
Dépenses à la charge de l'État	9,600,000
Dépenses à la charge des propriétaires	20,000,000
Total général.	98,000,000

Le volume d'eau employé aux usages domestiques est évalué pour 1857 à 25,887 m. c. seulement par jour ; et les habitants payent annuellement, pour ce volume insuffisant, une somme qui n'est pas inférieure à 7,290,000 fr.

On peut admettre que la consommation, qui augmente d'ailleurs rapidement tous les jours, sera portée à 50,000 m. c. au moins, dès que l'on pourra offrir aux habitants une eau limpide et fraîche ; en appliquant à ce volume le prix de 0 fr. 40 c., le produit annuel serait de 7,300,000 fr.

En ajoutant à ce produit celui des fournitures aux diverses industries et aux établissements publics, on obtiendrait le chiffre de huit millions et demi comme revenu probable à attendre du futur service des eaux, et comme base acceptable de toute combinaison financière ayant pour but l'exécution du projet.

Diverses propositions d'arrangement ont été faites à la ville au sujet de ses eaux par des Compagnies industrielles ; elles se résument dans les trois combinaisons suivantes :

1° Substitution pure et simple, pendant un temps déterminé, d'une Compagnie à l'administration municipale, pour le service public comme pour le service privé.

2° Partage du service entre l'administration municipale et une Compagnie ; la ville restant chargée du service public, alimenté par les eaux actuelles ; et la Compagnie, de la dérivation des sources, de l'installation et de l'exploitation du service privé.

3° Exécution des travaux par la ville ; exploitation par une Compagnie purement commerciale, acquérant de la ville, en masse, à un prix modéré fixé d'avance, l'eau dont elle aurait assuré le placement par son intervention, et qu'elle serait autorisée à concéder aux particuliers dans les limites d'un tarif convenu.

C'est à cette dernière combinaison que l'administration paraît donner la préférence ; mais elle ajourne sa décision jusqu'au moment où le projet aura reçu la sanction du gouvernement.

Tel est le beau et vaste projet sur lequel notre président a voulu appeler votre attention. Le caractère de grandeur et d'unité qui y domine jusque dans les moindres détails en font un ensemble des plus remarquables.

Toutefois, si complet que fût ce projet lorsqu'il s'agissait seulement de l'assainissement et de l'alimentation de la ville actuelle, l'annexion des communes suburbaines va élargir encore les bases de la question. Déjà, en prévision de cet établissement, la dérivation de la Vanne était reconnue nécessaire. Mais il faudra aussi s'occuper de l'assainissement de l'immense surface ajoutée à l'enceinte de la ville, et le réseau des égoûts devra s'y développer en même temps que celui des conduites d'eau.

C'est donc, en définitive, sur une population de seize cent mille habitants que doivent être basées, dès aujourd'hui, en prévision d'un avenir très-rapproché, les dispositions à suivre pour l'alimentation et l'assainissement de Paris.

M. le Président, en constatant l'intérêt soutenu qui a accompagné cette lecture, remercie M. Guillaume au nom de la Société, d'abord pour avoir su, dans un délai si court, extraire en ingénieur compétent la substance d'un travail d'une grande étendue.

Il croit en outre devoir des remercîments personnels au secrétaire qui a accepté, sans la mesurer, une tâche imposée comme d'urgence.

Enfin, M. le Président, au sujet d'un chiffre indiqué dans le mémoire de M. le Préfet de la Seine et qui porterait à 176 litres environ le volume d'eau afférent à chaque habitant de Paris par vingt-quatre heures, croit utile d'indiquer ici, de souvenir, qu'un membre de la Société, M. Cauvet, a amené dans une ville du Midi, Carcassonne, et dans des conditions presque fabuleusement économiques, un volume d'eau équivalent à 800 litres par jour et par habitant.

6

M. Benoit-Duportail fait ensuite l'analyse d'un travail de M. Henri Mathieu, sur la répartition du poids des locomotives sur les essieux. L'intéressant mémoire de M. Mathieu, avec ses formules et ses méthodes géométriques, de même que les observations approfondies de M. Benoit, ne sauraient être écourtées sans perdre la plus grande partie de leur intérêt. Ces deux travaux seront d'ailleurs reproduits dans les bulletins de la Société.

SÉANCE DU 4 MARS 1859

Présidence de M. Faure.

Un membre présente des observations au sujet de la communication faite à la Société, dans la séance du 4 février dernier, sur le projet du canal de Nicaragua.

Il faut distinguer entre la pensée première et les moyens de la réaliser proposés par M. Thomé de Gamond. Il y a lieu de regretter que des vues techniques et financières, ne reposant sur aucune étude nouvelle, aient été présentées comme une solution définitive et certaine d'un projet que ses premiers promoteurs n'ont produit que sous la réserve d'études locales très-approfondies.

Les dispositions adoptées par M. Thomé de Gamond, surtout en ce qui concerne le système de canal à courant continu, ne sont justifiées par aucun précédent. Une idée si nouvelle, ne devait pas, en pareil cas, être aventurée sans souci de ce qu'elle présente de contestable.

Il est aussi très-regrettable que le choix d'un système de travaux précède les études de détails, au lieu d'en être la conséquence. Ce n'est pas là la marche prudente et sérieuse que mérite un projet dont l'utilité se recommande à l'attention du monde civilisé. La mission de l'ingénieur est de puiser d'abord dans les études les plus étendues les moyens de résoudre les difficultés que la nature oppose à l'art.

Quant aux considérations financières, la Société doit y rester étrangère. Dans la question de l'isthme de Suez, la Société n'a pas voulu discuter les prévisions financières des auteurs du projet, et s'est bornée à l'examen des questions techniques : il doit en être de même pour celles du percement de l'isthme Centro-Américain.

A ce point de vue, le travail de M. Thomé de Gamond n'apporte aucun élément discutable.

M. le Président répond que la Société ne saurait être engagée, car elle a entendu une analyse pure et simple, sans vouloir discuter, par cela même qu'elle s'est trouvée en présence d'études insuffisantes. L'auteur de la communication a lui-même réservé son opinion, et il a exprimé la même pensée au sujet du mode de canalisation proposé pour le San-Juan, en signalant avec la réserve convenable d'ailleurs, mais très-explicite, les éléments d'incertitude qui se rencontrent dans l'avant-projet de M. Thomé de Gamond.

En ce qui concerne la coupure de Salinas, l'auteur de cette même communication a signalé tout ce qu'il y a d'inconnu encore ou même de problématique à première vue dans ce projet de coupure par deux alignements, dans ces terrains inconnus, si notoirement accidentés et dans lesquels la dépense et les difficultés doivent être considérables.

Dans cet esprit de sage réserve, l'auteur de la communication croit néanmoins avoir fait chose utile, en s'efforçant de présenter à la Société un résumé fidèle et complet de la question, au point où venait de la poser la publication de MM. Belly et Thomé de Gamond.

M. le Président ouvre la discussion sur le Mémoire de M. le Préfet de la Seine, relatif aux eaux de Paris. Il croit devoir rappeler que sous le titre d'*Observations préliminaires,* le premier chapitre de ce mémoire contient la discussion entre la solution proposée par M. le préfet et les solutions différentes. Celles-ci se rapportent soit à l'emploi des moteurs hydrauliques, soit à celui des machines à vapeur pour faire mouvoir les appareils élévatoires.

M. Vuigner fait remarquer que tout le projet est basé snr ce fait qu'il faudrait, pour l'alimentation de la ville, un volume de 215 litres par habitant. Il pense que la fixation de la quantité d'eau nécessaire pour les besoins publics et particuliers doit précéder tout autre examen, et il extrait de son Mémoire sur les eaux de Lyon divers renseignements qui l'avaient conduit à prendre le chiffre de 80 litres pour base de son projet ainsi que l'avaient admis beaucoup d'autres ingénieurs en France et en Angleterre.

Un membre répond que les raisons développées dans le Mémoire de M. le préfet de la Seine justifient pleinement le volume adopté par l'auteur du projet. Pour ne considérer qu'un seul des besoins particuliers qu'il faut satisfaire, nous voyons aujourd'hui que la population est entraînée dans de grandes dépenses par l'éloignement forcé de l'industrie du blanchissage.

L'eau de l'Ourcq est de mauvaise qualité pour tous les usages, même ceux de l'industrie; l'eau de la Seine est presque toujours bourbeuse et doit être filtrée, ce qui l'éloigne de la consommation du pauvre. Il ne faut donc compter utiliser, pour les besoins particuliers, que les 100,000 m. c. qu'on se propose d'amener par la dérivation nouvelle, et il y aurait plutôt à craindre que ce volume devînt insuffisant.

Il faut reconnaître que tous les calculs de consommation d'eau reposent sur les habitudes de populations qui en manquent depuis des siècles. Si on compare les habitudes de propreté des populations hollandaises dans les villes où l'eau est à discrétion à celles des cités où l'eau se paie, on arrive à des résultats tellement distants qu'ils équivalent à des différences dans les

mœurs. Donner aux populations pauvres des villes le bénéfice de la propreté par l'usage gratuit de l'eau est un des buts les plus recommandables d'un service public. Il n'est pas besoin que la misère, pour inspirer la pitié, soit repoussante; au contraire, Paris a été jusqu'à ce jour l'une des villes les plus mal partagées quant à la quantité des eaux distribuées à la population. Il est urgent d'avoir de bonnes eaux et en très-grande quantité.

Relativement à cette prévision d'insuffisance, le Président fait observer que le Mémoire de M. le Préfet signale les sources de la Vanne parmi celles qui pourraient être dérivées vers Paris et y amener encore 100,000 m. c. à l'altitude de 75^{m}.00; ainsi le projet prévoit le cas d'insuffisance signalé.

M. Vuigner indique que l'eau de l'Ourcq est de bonne qualité quand on n'introduit pas dans le canal celles de la Beuvronne et de l'Arneuse dont le débit est le cinquième environ du volume total. Il admet d'ailleurs que cette eau et celle de la Seine soient employées pour le service public et que les eaux amenées par dérivation soient réservées aux usages domestiques; mais on aurait encore pour cette dernière partie du service seulement un volume de près de 80 litres par habitant, ce qui lui paraît au moins suffisant.

Un Membre cite l'ouvrage de M. Darcy, qui fixait à 86,750 m.c. par jour le volume suffisant pour les besoins particuliers de la ville de Paris. Il ne croit pas qu'on puisse admettre que l'eau soit distribuée aux étages supérieurs des maisons. Les propriétaires ont toujours repoussé cette disposition, parce que, quels que soient les appareils employés, on est exposé à des inondations locales.

M. Valério fait remarquer qu'à New-York la distribution se fait dans les maisons jusqu'à l'étage supérieur.

M. le Président signale l'importance de la nature des appareils employés pour livrer l'eau aux maisons, au point de vue de la distribution dans l'intérieur des habitations. Le Mémoire de M. le Préfet insiste à cet égard sur l'emploi combiné de deux moyens spéciaux : une cuvette de distribution ou un robinet à repoussoir. Il serait utile d'examiner et de comparer les appareils employés dans diverses localités, et notamment ceux en usage dans la ville de New-York.

M. Vuigner, revenant à la question de quantité, à l'occasion même des eaux de New-York, dont le volume atteint 568 lit. par habitant, dit qu'on ne peut songer à suivre à Paris cet exemple. Il ne croit pas, d'ailleurs, que ce chiffre élevé puisse s'expliquer autrement que par la facilité qu'on a trouvée d'avoir des eaux, ou par des dépenses excessives pour le service public. Il cite, sous ce dernier point de vue, l'exemple des fontaines de la place de la Concorde, qui peuvent absorber à elles seules 800 pouces par jour, soit 1/5 du volume de la dotation de la ville sur les eaux de l'Ourq.

M. le Président rappelle qu'en parlant de l'exemple de Rome, qui disposait de 1200 lit. par habitant, le Mémoire admet qu'une ville comme Paris doit avoir de l'eau en abondance, dût-elle employer en embellissements le surplus de ce qui est nécessaire aux divers services. En se plaçant à ce point de vue, la base de 215 lit. ne saurait paraître excessive.

M. Vuigner fait observer qu'il n'a parlé du volume des eaux d'alimentation pour les services publics et particuliers que pour établir une discussion à cet égard, mais qu'il reconnaît que le volume d'eau ne peut jamais être trop considérable quand on peut l'obtenir dans des conditions avantageuses.

Abordant l'examen des moyens propres à amener à la hauteur voulue le volume d'eau jugé nécessaire ou seulement utile, M. le Président fait remarquer, d'après les termes mêmes du Mémoire de M. le Préfet, que l'eau de la Seine, si elle était fraîche et claire, satisferait aux conditions exigées. Il serait donc très-intéressant de rechercher s'il serait possible de lui donner ces deux qualités, car alors on pourrait obtenir la même quantité d'eau à la hauteur voulue avec une dépense beaucoup moindre.

M. Roy ne croit pas que le drainage qu'on se propose d'établir pour les prises d'eau de la dérivation puisse donner les résultats nécessaires sans causer aucun préjudice aux vallées de la Somme et de la Soude; il pense que les travaux projetés appauvriront ces cours d'eau au préjudice des populations riveraines. Il y a donc, selon lui, dans la solution administrative, des conditions aléatoires, problématiques, qui pourront modifier très-profondément les prévisions de l'expropriation pour laquelle le chiffre de 7,000,000 fr. lui paraît insuffisant. Il serait préférable, selon lui, de prendre les eaux en Seine, en amont du confluent de la Marne. En comparant la dépense de la dérivation à celle qu'entraîneraient l'installation et la dépense journalière des machines, M. Roy indique pour cette seconde hypothèse un capital à dépenser de 14,000,000 au lieu de 30,000,000.

Un membre fait remarquer que le projet de dérivation fait ressortir à 0 fr. 05 c. seulement le prix du mètre cube d'eau. Il ne croit pas qu'on puisse arriver à une dépense moindre avec les machines, et il considère comme bien au-dessous de la vérité le prix de 0 fr. 015, qui résulterait des calculs de M. Roy.

M. Vuigner dit qu'il faut bien séparer, dans le prix de revient des eaux, la dépense relative à leur élévation, à leur emmagasinement dans des réservoirs et à leur distribution. En ne considérant que l'élévation aux réservoirs, il est arrivé à un chiffre assez comparable à celui de M. Roy pour une hauteur à peu près égale à celle des réservoirs de la distribution projetée.

Dans la comparaison des machines avec la dérivation, il faut tenir compte, pour ce dernier système, de l'augmentation inévitable des dépenses prévues, augmentation qui pourrait faire revenir les eaux à un prix supérieur à celui qui est indiqué.

M. Le Brun indique que l'eau est élevée à 50 m. par la machine d'Ivry pour 0 fr. 02 c., bien que les proportions de l'établissement soient trop petites.

M. Molinos fait observer que le prix de 0 fr. 015 indiqué par M. Roy se rapporte très-bien à ce que doit coûter le mètre cube d'eau élevé par machines à vapeur à l'altitude indiquée, si l'on tient compte seulement de la dépense en combustible. Il croit donc que la critique sur ce point n'est pas exacte.

Un Membre maintient l'opinion qu'il n'est pas possible d'établir par le calcul qu'un mètre cube d'eau puisse être élevé du niveau de la Seine à la cote du projet pour 0 fr. 015, et livré à la population dans des conditions de fraîcheur et de limpidité égales à celles des eaux de source.

M. le Président appelle l'attention sur la question des machines à vapeur. Elles ont été repoussées sur l'exemple unique de celles de Chaillot qui, peut-être, sont loin de réaliser les conditions et les dispositions les plus avantageuses qu'on puisse adopter. Il serait désirable que des renseignements sur ce sujet fussent apportés à la prochaine séance; il croit devoir signaler encore la question d'altitude qui lui paraît très-importante au point de vue des dépenses de premier établissement.

Il insiste enfin sur l'utilité qu'il y aurait, selon lui, à suivre, dans la discussion qui vient de commencer et qui doit se continuer, un ordre sévère, naturellement indiqué, d'ailleurs, par les divers chapitres du mémoire de M. le Préfet de la Seine. Les questions à discuter sont graves, le travail administratif qui les a livrées à la publicité est un document remarquable à tous égards; il faut donc que la discussion soit sérieuse et logique de la part de tous, soit que l'on approuve, soit que l'on croie devoir critiquer les solutions proposées dans le mémoire de M. le Préfet.

SÉANCE DU 18 MARS 1859

Présidence de M. Faure

M. le Président donne lecture d'une lettre de M. Ottavi, membre de la Société et ingénieur des ateliers de M. Delettrez : elle fait connaître que les voitures construites dans ses ateliers pour un train pontifical y resteront exposées pendant cinq jours, du 27 au 31 mars, en même temps qu'elle invite les membres de la Société à venir voir le travail.

M. le Président donne ensuite lecture d'une lettre de M. Henri Mathieu, jointe à l'envoi d'une note avec dessins relatifs à un mode de consolidation des foyers des machines locomotives.

L'ordre du jour appelle la continuation de la discussion sur les Eaux de Paris.

M. le Président croit devoir signaler l'obligeance toute spéciale avec laquelle M. Dumas a bien voulu intervenir pour lui faire donner un exem-

plaire complet du mémoire de M. le Préfet, et il pense que la Société doit consigner à son procès-verbal l'expression de sa gratitude.

M. Faure demande à lire un travail qu'il a préparé sur cette question, et M. Degousée prend la présidence.

M. Faure donne lecture de la note suivante :

Le conseil municipal du département de la Seine étudie en ce moment une *question des plus considérables*, et le chef de l'administration parisienne, par une initiative qu'on ne saurait trop louer, a cru devoir livrer au public un document des plus remarquables sur cette question.

Sur ma proposition, vous avez bien voulu reconnaître que la Société des ingénieurs civils devait étudier le mémoire de M. le Préfet sur les eaux de Paris.

Il m'a semblé dès lors que, pour ma part, j'accomplirais un devoir en venant vous présenter une discussion consciencieuse sur quelques-uns des points traités dans le document adminisiratif livré à la publicité par son auteur.

Par une délibération du 13 janvier 1855, le conseil municipal a constaté :

« Que, dans le régime actuel, les eaux de Paris ne satisfont pas aux besoins de ses habitants ;

« Que, d'après les recherches entreprises par M. l'ingénieur Belgrand, IL SERAIT POSSIBLE *de conduire des plateaux de la Champagne à Paris, par un système d'aquéducs* en maçonnerie et de conduites métalliques, et moyennant une dépense qui ne dépasserait pas 25,000,000 de fr., une eau pure, claire, fraîche et abondante, à une altitude de $80^{m}.00$ au-dessus du niveau de la mer, qui permettrait la distribution de cette eau dans tous les quartiers de la ville et à tous les étages des maisons.

« Dans la double hypothèse de la dérivation et de la distribution complète projetées, le système actuel des galeries d'égout de Paris devrait être modifié et étendu, et il importe fort d'arriver à des conditions meilleures, sous le rapport des fosses d'aisance et des divers modes employés pour les vidanges. »

Il est utile de signaler d'abord les limites étroites dans lesquelles le conseil a entendu circonscrire cette délibération :

Sur le chef d'insuffisance du régime actuel, sur celui des besoins non satisfaits par ce régime, elle est catégorique : on doit donc admettre qu'il y a, sur ces deux points, *force de chose jugée et bien jugée*. Il suit de là qu'il serait superflu, tout au moins, de chercher à établir des faits tendant à une conclusion plus ou moins contradictoire.

Mais il importe de remarquer qu'au delà de cette première et unique constatation, le conseil municipal n'a voulu engager ni l'avenir, ni ses propres délibérations.

En effet, rendant un très-juste hommage aux premiers et beaux travaux de M. Belgrand, il a admis, purement et simplement, LA POSSIBILITÉ DE RÉALISATION de l'avant-projet dressé par cet ingénieur distingué. Le conseil a donc constaté, exclusivement, UNE POSSIBILITÉ, et il a demandé une étude

définitive et complète de cette hypothèse déclarée possible. ***Rien de plus!*** Mais, en même temps, il s'est expressément réservé de statuer sur la question de savoir ***si ce projet possible doit être mis à exécution.***

Donc la question reste entière à cette heure, et nous sommes en présence d'une ***solution indiquée***, mais non d'une solution sanctionnée par un vote des juges naturels en l'espèce.

A ceux qui pourraient être tentés de regarder comme puérile la distinction que je viens de faire, il serait trop facile de répondre.

Elle devenait nécessaire, d'ailleurs, du moment que M. le Préfet, en écrivant dans son second mémoire les paroles que voici : « Le conseil municipal « de Paris qui, par un premier vote, a donné la préférence au système des « dérivations », avait, lui-même, commis une erreur que réfutent les termes sagement circonspects de la délibération invoquée.

Le premier chapitre de ce mémoire est intitulé : ***Observations préliminaires.*** Ce titre aux apparences trop modestes est, en réalité, un ***exposé de motifs*** destiné à justifier la solution acceptée par M. le Préfet et par lui présentée au conseil. Or, si profond que soit le respect que je sens en moi pour le très-beau travail du chef de l'administration municipale, je crois qu'il peut y avoir utilité réelle à dire et à prouver que cette solution est loin d'être la meilleure entre les diverses solutions possibles.

Après quelques phrases élégantes consacrées au rappel des travaux hydrauliques des nations anciennes de l'Orient, après une juste admiration donnée à « des ruines sublimes, à des restes impérissables », mais à des ruines enfin...., M. le Préfet fait un magnifique résumé des gigantesques travaux par lesquels la Rome des Césars s'était donné des quantités d'eau luxuriantes. Il constate néanmoins que ce qui ne devait pas périr a péri... Donc il établit de fait, et dès le début, une première critique contre la donnée principale, contre l'argument majeur à l'appui du projet qu'il va développer. Mais l'immortalité n'est pas du domaine humain, et il convient d'admirer la grandeur de l'œuvre qui, après une destruction partielle, subsiste assez forte et grande encore pour alimenter une ville de 180,000 âmes, en lui donnant un volume d'eau que les populations modernes n'ont pas songé à demander à leurs édiles (1).

N'oublions pas toutefois que les ***souverains pontifes ont dû dépenser bien des millions*** pour restaurer seulement, pour recréer une ***faible partie*** des ouvrages hydrauliques de la Rome antique, et fournir à la Rome sacrée ce splendide contingent de 1,060 litres par jour et par habitant, lequel cependant représente 12 p. °/₀ seulement de la quantité fournie jadis par les Césars à la ville immortelle.

Si grandioses et si solides qu'aient pu être ces travaux des Romains, ils étaient périssables, ils ont péri..... et il devient peut-être inexact de dire en termes absolus : « Les aquéducs ont le privilége de l'éternelle durée. »

C'est ici le lieu de remarquer, en passant, que les plus élevés entre les

---

(1) La seule ville de Carcassonne, à notre connaissance du moins, dispose de 1,200 litres d'eau par tête.

réservoirs de Rome ancienne ne dépassaient pas une altitude de 61m.00 au-dessus du niveau de la mer, à 47m.00 au-dessus des eaux du Tibre. Ainsi, tandis que la hardiesse romaine n'avait pas voulu imposer aux conduites de distribution une charge excédant 47m.00, le projet de M. le Préfet de la Seine ne craint pas de faire peser sur ces conduites une colonne d'eau dont la hauteur approche de 55m.00. Or, si l'on songe à la fréquence des avaries dans les conduites qui descendent aujourd'hui des bassins de Chaillot sur les Champs-Élysées, on est conduit à redouter les conséquences de l'énorme pression voulue par le projet en discussion. C'est vous dire, Messieurs, qu'il faudra se demander si l'altitude de 83m.50 est une nécessité, ou seulement une surabondance au-dessous de laquelle il serait sage d'abord, et facile ensuite, de rester, tout en atteignant le but proposé, à savoir : fournir de l'eau au plus haut étage des maisons situées sur les points culminants de la grande enceinte parisienne.

Je dois signaler encore avec des paroles empruntées au mémoire le fait suivant : « Chaque réservoir considérable recevait l'eau de deux conduites, » afin que, l'une venant à faire défaut, l'autre maintînt la permanence du » service. »

Or, le projet présenté, dans la limite si grosse cependant des dépenses prévues (30,000,000 fr.), est loin de satisfaire à cette condition, puisque l'alimentation du *réservoir-tête* des buttes Chaumont est confiée à un aquéduc unique. Ne penserez-vous pas avec moi, Messieurs, que, pour rester conséquent avec les *desiderata* du projet de dérivation, il serait indispensable de fractionner rigoureusement et continûment en deux artères, tout ou moins, la voie d'accession des eaux aux réservoirs qui les doivent livrer à la capitale?

Mais, d'autre part, cette nécessité ne saurait être satisfaite sans un accroissement considérable de ce chiffre de 30,000,000 fr., que, l'autre jour, un des plus compétents entre nous disait être très-certainement inférieur au chiffre réel des dépenses qu'absorberait la réalisation du projet de dérivation tel qu'il a été conçu et exposé.

Cela dit, j'admettrai comme très-probable, si l'on veut, bien que problématique encore, le succès des drainages profonds qui doivent conduire au cœur des nappes souterraines dont la Somme-Soude ne serait qu'un faible indice, un filet supérieur, parce que je me sens porté à avoir foi dans les vastes études d'hydrographie géologique dues à M. Belgrand.

Je supposerai d'abord, mais sans l'admettre cependant, que la dérivation proposée amènerait, au prix prévu de 30,000,000 de fr., 100,000 m. c. d'eau pure, claire et fraîche, au réservoir de Belleville, et avec tout cela je sens me revenir en mémoire le mot de Franklin, et je suis tenté de l'appliquer à la ville de Paris :

« Ne pourrait-elle pas avoir payé trop cher son sifflet ? »

A savoir ; ce ruisseau débitant un mètre cube par seconde, et qu'on a trop pompeusement voulu appeler « un fleuve d'eau pure et fraîche », cheminant par monts et par vaux, tantôt sur de belles mais coûteuses arcades, tantôt caché sous le sol, tantôt engouffré dans un siphon avec mille périls

divers, mille chances d'engorgement ou de rupture, venu de si loin cependant pour faire concurrence au vrai fleuve qui débite par seconde en étiage 75 m. c. d'une eau excellente.

C'est vous dire, Messieurs, que je me permets de croire que la vraie, la bonne solution du problème posé par M. le préfet : *amener sur les hauteurs de Paris* 100,000 *m. c. de bonne eau,* n'est pas dans une imitation, glorieuse sans doute, mais un peu trop servile, des œuvres de Rome ancienne ; je pense au contraire qu'il y a lieu de dire : Soyons de notre temps, et songeons que chaque époque, pour satisfaire aux mêmes besoins, doit demander des voies nouvelles, des moyens autres, à des solutions propres, à des matériaux différents, à des appareils distincts ; suivre le progrès enfin quand celui-ci est réel, incontestable, au lieu de reculer, en dédaignant les créations du siècle, en s'effrayant, *avant examen suffisant,* d'une fragilité prétendue, contredite par de nombreuses et puissantes expériences acquises, poursuivies, continuées, à la satisfaction des populations et au grand profit des deniers de tous.

Il s'agit de prouver ces prémisses en faisant voir que la ville de Paris, « sans renoncer à la conviction de sa propre durée, au souci de sa gloire, au sentiment de ses devoirs envers les générations à venir », peut dédaigner à son tour les solutions antiques, en leur préférant les moins coûteuses et non moins bonnes solutions modernes, en se disant avec une conscience parfaitement calme :

Si les Romains avaient connu la machine à vapeur et les engins élévatoires qu'elle anime à peu de frais relativement, ils auraient, pour sûr, préféré le système qu'elle implique à leurs impérissables aquéducs.

A ce sujet, je vous prie de me permettre une courte digression, qui me paraît pouvoir être un utile enseignement.

Plaçons-nous au chevet de Saint-Eustache, et regardons, à droite, ce bâtiment sans nom, auquel le populaire infligea plaisamment, dès l'origine, le nom de *fort détaché* ou de *fort de la halle;* à gauche, les nouveaux pavillons des halles centrales.

Celui-là, c'est de l'antique! à peine déguisé, ma foi, car on le pourrait croire découpé dans les thermes de Julien ; les pavillons à gauche, c'est le présent, le siècle avec la matière qu'il a su appliquer à ses besoins actuels d'espace, d'air et de lumière, avec ses conditions nouvelles de légèreté élégante et forte, et d'économie tout ensemble.

Est-ce qu'elle ne vous semble pas « soucieuse de sa gloire », et de ses deniers et de son bien-être en même temps, la nation, la ville qui a eu le courage d'esprit d'interrompre brusquement une œuvre commencée, mais irrationnelle ; qui a su saisir au passage (vous savez d'où elle est partie) une *solution actuelle, bonne et neuve;* qui n'a pas craint de dire carrément aux rénovateurs de l'ancien : Vous n'irez pas plus loin !

Que cette leçon d'hier soit présente à l'esprit de tous, Messieurs, et l'on se méfiera du *parti pris à priori !*

Marchons donc, et entreprenons de prouver que l'exécution, aux ans

de grâce 1859 et suivants...., d'un aquéduc ***more romano***, serait une faute sérieuse pour une ville que la Seine traverse.

Établissons d'abord le prix de revient comparatif entre le mètre cube d'eau amené à Paris par la dérivation projetée et le mètre cube d'eau puisé dans la Seine, et élevé à l'altitude voulue au moyen de machines à vapeur conduisant des pompes.

Prix de revient du mètre cube d'eau amené au réservoir principal, dans le projet de dérivation de la Somme-Soude.

30,000,000 fr. — Capital absorbé par la construction, l'aquéduc collecteur ayant une longueur de 183,294^{m}. 00, ou 46 lieues sensiblement, et le développement total, en y comprenant les aquéducs de prise d'eau, étant de 253 kilomètres, ou 63 lieues 1/2 environ.

3,800,000 fr. — Capital absorbé par la construction des réservoirs de Belleville et de Montrouge, ***non compris les sommes dépensées déjà pour la construction, aujourd'hui achevée, du réservoir de Passy.***

33,800,000 fr.

Intérêts et amortissement du capital, 6 p. 0/0 . . .		2,028,000 fr.
Personnel d'entretien et d'administration :		
1 Ingénieur.	8,000 fr.	
3 Gardiens du réservoir. .	3,600	14,600
3 Aides	3,000	
Entretien des travaux, service d'entretien, soit 1/2 p. 0/0.		169,000
		2,211,600 fr.

100,000 m. c. d'eau par jour, ou 36,500,000 m. c. par an ;

Prix de revient du mètre cube d'eau, amené au réservoir-tête de Belleville. 0f. 060591

« Soit. 0f. 061

C'est ici le cas de consigner les prévisions de M. le Préfet lui-même touchant les difficultés du travail qui doit conduire à ce résultat ; citons donc :

« A quelque parti qu'on s'arrête, faire arriver quotidiennement à Paris « 100,000 m. c. d'eau à la hauteur convenable *est une œuvre des plus « délicates.*

« *Les prises d'eau,* même les moins difficiles, *exigeront des précau- « tions nombreuses.*

« *L'établissement des conduites,* PRESQUE TOUJOURS AU MILIEU DE LA « COUCHE AQUIFÈRE, *demandera beaucoup d'art et d'attention.*

« Les données du tracé étaient complexes et les difficultés nombreuses. »

Si l'on considère maintenant que, pour assurer le service et le garantir contre les chances d'interruptions plus ou moins prolongées, il faut, de toute nécessité, et ***en imitant la sagesse des Romains à cet égard***, ar-

river à un double aquéduc, qui n'est prévu au projet, si je ne me trompe, que dans les parties à conduite en fonte, on sera conduit à reconnaître qu'il est nécessaire d'allouer, pour la réalisation de l'aquéduc géminé, une somme que je crois évaluer bien au-dessous de la vérité en la fixant à 10,000,000 fr.

Ainsi et de ce chef :

10,000,000 fr. pour compléter le capital de création, dont l'amortissement et les intérêts à 6 p. 0/0 600,000 fr. lesquels, appliqués à 36,500,000 mètres cubes, *ajoutent au prix de revient de chaque mètre cube :* 0 fr. 01644.

Le prix réel du mètre cube amené au réservoir-tête, sans tenir compte des conduites à construire pour mettre en communication le réservoir principal de Belleville avec ceux de Passy et Montrouge, est donc :

0 fr. 0610
0 0164 } 0 fr. 0774. . . 0 fr. 08

Si l'on doit penser, *avec bon nombre d'hommes très-compétents,* que le capital qui sera réellement absorbé par les travaux de cette dérivation, si délicats, si difficiles, et dans lesquels l'imprévu doit, quoi que l'on fasse, intervenir pour une très-large part, excédera de moitié les sommes portées au devis, il faudrait ajouter au capital de création une somme de 15,000,000 de francs;

Pour lesquels l'amortissement et les intérêts à 6 pour 0/0 représentent 900,000 francs. Ceux-ci, *appliqués à chaque mètre cube* amené au réservoir de Belleville, représentent 0 f. 0246.

Ainsi, dans cette hypothèse, qui, loin d'être forcée, serait, au dire d'ingénieurs éminents, une réalité amoindrie peut-être,

Le prix réel du mètre cube rendu au réservoir de tête, et sans faire entrer en ligne de compte les conduites destinées à mettre celui-ci en communication avec les deux autres, serait de :

0 f. 0774
0 0246 } **0 f. 102**

Notons enfin que nul n'a voulu écrire encore une prévision touchant l'époque à laquelle ces grands travaux seraient achevés, et dire le jour où la ville de Paris sera en possession de ce cher aquéduc.

Évaluation du prix de revient du mètre cube d'eau élevé à l'altitude de 83m.50 au-dessus du niveau de la mer par machines à vapeur conduisant des pompes.

350,000 fr. Machines d'une puissance totale et utile de 1,000 chevaux (1), à raison de 350 fr. le cheval.

(1) Il est facile de reconnaître que cette puissance de 1,000 chevaux est largement appropriée aux besoins réels d'une élévation de 100,000 m. c. d'eau. L'étiage au pont de la Tournelle est à 26m.25 au-dessus du niveau de la mer. En été, la Seine monte à 3m.70 au plus au-dessus de l'étiage; en hiver, elle s'élève souvent à 4m.50, quelquefois à 7 et 8 m.

On restera donc dans le vrai, avec excès, en admettant pour la différence

200,000	Générateurs, à raison de 200 fr. par cheval utile.
400,000	Equipages de pompes pour 1,000 chevaux en eau montée, à raison de 400 fr. par cheval.
950,000 fr.	

1,900,000	En admettant double système de machines motrices et d'appareils élévatoires.
1,000,000	Construction des usines.
2,500,000	Colonnes de refoulement. — Deux systèmes semblables.
4,000,000	Construction et établissement des bassins de dépôt et de filtrage.
3,800,000	Construction de deux réservoirs. — En admettant comme acquis celui de Passy, de même qu'au projet de M. le Préfet.
1,200,000	Achat des terrains pour l'établissement des bassins de dépôt et de filtrage.
14,400,000 fr. . . .	*Capital de création.*

Faisons remarquer que les divers travaux prévus dans ce système n'ont rien de *difficile*, rien de *délicat*, pour emprunter au mémoire préfectoral ses appréciations caractéristiques; que les constructeurs et entrepreneurs pourront tous être astreints à livraison à époque fixe, prévue et assignée à l'avance.

Intérêts et amortissement du capital engagé, 6 p. 0/0	864,000 fr.
Amortissement spécial pour la dépréciation des machines, en plus de 1 p. 0/0 déjà compté 4 p. 0/0.	76,000
Somme annuelle à reproduire.	940,000 fr.

---

de niveau *moyenne* entre l'altitude voulue de 83m,50 au-dessus du niveau de la mer et le plan d'eau à la prise en rivière, une hauteur de 54 à 55m.00, soit 55m,00.

$$\frac{100,000,000}{24 \times 3,600} = 1,157 \text{ k. } 4 \text{ à élever par seconde.}$$

Travail utile à produire = 1157 k. 4 × 55 = 63657 kilogrammètres, ou 850 *chevaux*, en eau élevée en *travail utile*.

$$850 + \frac{850}{5} = 1020 \text{ chevaux effectifs à fournir par les machines,}$$

en admettant que les frottements dans les conduites de refoulement absorberont un cinquième du travail livré par les moteurs.

Pour calculer le combustible, je me suis basé sur 1200 chevaux, effectivement transmis aux manivelles, à raison de 1 k. 60 par force de cheval et par heure; c'est-à-dire qu'en réalité j'ai admis une consommation de 2 k. environ appliquée à des machines de 1,000 chevaux de force normale.

Dépense annuelle pour COMBUSTIBLE.

1,000 chevaux en eau élevée.
200 id. travaux de frottement, etc.

1,200 chevaux effectifs à produire sur les arbres du volant des machines.

J'ai admis, pour fixer les idées et aussi parce que c'est la solution que je crois préférable, des machines à condensation et à détente, agissant pour faire tourner un arbre de volant et transmettant le mouvement aux pompes par manivelles.

Consommation régulière de combustible.

1^{k} 60 par cheval-vapeur et par heure pour 1,200 chevaux.
1,200 × 1^{k} 60 × 24 × 365 = 16,819 277 kil. par an.
Soit 16,820 *tonnes*.

16,820 tonnes de houille à 27 fr.	454,140
	1,394,140 fr.

Personnel des Usines.

1 ingénieur, 1 sous-ingénieur.	10,000 fr.	43,000 fr.	43,000
3 mécaniciens	12,000		
3 chauffeurs	12,000		
Aides-mécaniciens aides-chauf.	9,000		
Graissage et entretien des machines et des pompes . . .			100,000
Personnel d'administration, surveillance et entretien des conduites de refoulement			15,000
			1,552,140 fr.

Lesquels, appliqués à 36,500,000 mètres cubes, portent le prix du mètre cube d'eau amené aux réservoirs à :

0 fr. 0425.

Je crois devoir faire observer que j'ai, à dessein, calculé avec quelque exagération le capital à engager, et je crois pouvoir affirmer qu'à l'exécution il se réduirait facilement de 2 à 3,000,000 fr. Ainsi pour les seuls bassins de filtrage j'ai compté 2,000,000 de fr. en sus de ce qu'ont coûté de semblables ouvrages en Angleterre.

Au prix de 0 fr. 0425, il faut ajouter :

Pour mains-d'œuvre relatives au filtrage des eaux et pour entretien des filtres. . . . . 0 fr. 0035 (1).

Et le prix du mètre cube d'eau filtrée amené au réservoir de distribution est alors de. . . . . 0 fr. 0425 } 0 0035 } 0.0460

Rapport entre : { Prix de l'eau élevée par machines. . / Prix de l'eau amenée par dérivation. . } $\frac{0.0460}{0.1020} = \frac{45}{100}$

(1) Ce chiffre résulte de données anglaises.

On réaliserait donc une économie annuelle de 55 p. 0/0 en substituant au projet de dérivation de 100,000 m. c. d'eau par jour un système d'élévation d'eau par pompes et machines à vapeur.

Economie quotidienne.	5,600 fr.
Economie annuelle.	2,044,000

Si considérable que soit ce chiffre d'épargne, il ne représente cependant que le moindre, peut-être, des arguments à faire valoir contre le projet de dérivation et en faveur du projet d'élévation d'eau par machines. En effet :

1° Le volume normal de 100,000 m. c. élevés chaque jour répond à la marche normale des moteurs à vapeur ; mais quand on le voudra, et chaque fois qu'on le voudra, on pourra avec les mêmes appareils augmenter de 1/3 au moins le volume élevé. Il suffit pour cela de faire marcher les pompes à une vitesse plus grande, en forçant d'autant la consommation de combustible. Tout le monde sait en effet qu'une bonne machine dont la puissance normale est de 100 chevaux peut facilement donner 130, voire 140 chevaux, si l'on a intérêt à sacrifier temporairement l'économie de combustible. Ainsi, advienne un chômage forcé du canal de l'Ourcq, par exemple, et les machines pourront fournir et fourniront aisément 140,000 m. c. chaque jour.

2° L'altitude absolue de 83m.50 voulue par le projet préfectoral et appliquée à la totalité du volume élevé est ***une des fâcheuses nécessités du système de dérivation,*** puisque cette altitude maxima n'est nécessaire ou seulement utile que pour desservir une faible portion de la superficie totale de la ville, la plus grande partie de cette même superficie pouvant être alimentée avec une altitude moindre.

Ce n'est pas ici le lieu de faire un projet, et je n'ai certes pas les éléments nécessaires ; mais il suffit d'indiquer cette considération pour que les hommes spéciaux comprennent que la modération, ou mieux le fractionnement de l'altitude, celle-ci pouvant être proportionnée ou réduite pour telle zône déterminée à desservir, portée au maximum pour telle autre, aura pour conséquences d'abord de réduire très sérieusement la puissance à dépenser chaque jour, et ensuite de réduire très-sérieusement le capital d'achat des machines d'une part, et, d'autre part, le capital énorme absorbé par l'établissement des conduites de distribution, dont le prix s'élève avec la charge qu'elles doivent supporter. Ainsi et de ce dernier chef, une économie sérieuse sur le chiffre de 8,000,000 fr. porté au devis de M. le Préfet pour les conduites de distribution.

Faut-il ajouter que toutes les conduites dont la charge aura pu être amoindrie feront un service plus régulier et mieux assuré, avec une dépense moindre pour l'entretien et les réparations, si fréquentes et si pénibles dans les conduites à forte charge.

3° On a fait au projet de dérivation une objection ***des plus sérieuses,*** et peut-être il faut s'étonner que M. le Préfet, en la mentionnant dans son Mémoire de 1854, ne lui ait pas reconnu ce caractère. On a dit : « Supposons la France, la Champagne, envahie, et votre aquéduc pourra être

coupé ! »... Éloignons, si on le veut, la perspective d'une invasion ; mais n'oublions pas que la malveillance seule peut, à un jour donné, produire ce résultat. Admettez des populations aigries, déshéritées de cette bonne eau qu'elles avaient jadis ; supposez deux ou trois malfaiteurs, et comprenez qu'une nuit un peu sombre leur permettrait d'affamer d'eau la capitale, avec l'espoir d'impunité.

4° Enfin, et ce dernier argument contre le projet est peut-être le plus considérable, la somme des *inconnues*, des *difficultés*, des *chances aléatoires*, est grande, bien grande, dans la solution que l'on veut adopter : deux cent cinquante-trois kilomètres de conduites à établir, avec toutes les délicatesses d'exécution signalées par M. le Préfet lui-même, avec les chances inconnues du drainage profond, duquel il est permis d'attendre beaucoup sans doute, mais duquel aussi l'insuccès doit être regardé comme chose à mettre au rang des *possibilités*.

Tout cela admis, et il faut l'admettre, qui pourrait affirmer qu'il ne faudra pas recourir à d'autres sources, d'origine crayeuse ou jurassique, et alors accroître, dans une proportion effrayante d'inconnu et de grandeur, le capital engagé !

Il y a plus : admettant le succès, mais envisageant les difficultés, qui donc pourrait aujourd'hui, et avec quelque certitude, dire à *quel jour*, dans *quelle année*, à *quel prix*, les buttes Chaumont verront arriver les 100,000 mètres cubes *espérés?*

A ces formidables inconnues, si l'on oppose le temps, *bien connu*, suffisant et nécessaire pour établir des machines à vapeur, des pompes, des conduites de refoulement, des bassins, des réservoirs, sur un périmètre donné, on est fondé à dire avec confiance, avec certitude, et sans *alea :*

Deux ou trois campagnes au plus, et vous pourrez voir tomber chaque jour dans vos réservoirs supérieurs 100,000, 200,000 mètres cubes (plus si vous voulez) d'eau pure et claire ; car vous pourrez demander à la Seine un, deux mètres cubes par seconde, ou plus encore, sans que nul songe à se plaindre, à se dire déshérité.

Soixante-trois lieues d'aquéducs à construire, la nécessité de doubler presque ce développement, si, en imitant les grandes œuvres de la Rome antique, on veut imiter aussi sa sage prudence, avec des difficultés *avouées*, voilà des motifs très-puissants contre le projet de dérivation ; mais ils ne sauraient dispenser de répondre aux objections qui peuvent être faites contre le système d'élévation d'eau par machines à vapeur.

De là le devoir d'examiner, de discuter les objections faites à ce projet par M. le Préfet de la Seine, qui d'ailleurs se réduisent presqu'*à une seule*.

Elle consiste dans le récit, plutôt amoindri que chargé, des ennuis, des mécomptes, des accidents successifs éprouvés dans l'installation des deux machines de Chaillot, *l'Alma* et *l'Iéna*, système Cornwall, devant produire 390 chevaux, et élever 34,000 m. c. d'eau par vingt-quatre heures, au jour encore problématique où l'on aura pu arriver à les faire fonctionner avec une simultanéité régulièrement continuée.

Je n'ai ni le besoin ni le désir de faire la critique de ces aprareils grandioses, et je laisse ce soin à d'autres ; il me suffit de répondre par un fait :

« Sur dix compagnies qui font le service de Londres, huit s'alimentent par des eaux de rivière. En termes généraux, on peut admettre que, sur 50,000,000 de gallons (227,150 m. c.) qui sont consommés par jour à Londres, 32,000,000 de gallons (145, 376 m. c.) sont empruntés aux rivières, tandis que le reste, ou 18,000,000 de gallons (81,774 m. c.), est fourni en partie par des sources, en partie par des rivières (la Tamise, la Lea). »

« La *New-River company* emprunte plus de la moitié de sa fourniture, ou 900,000 gallons, à la Léa, de sorte *qu'en réalité, plus des 4/5 de la totalité de l'eau consommée à Londres sont fournis par les rivières.* »

(*Treatise on Water-Worcks, by* Samuel Hughes, 1856.)

Ces 145,376 m. c. livrés chaque jour sont donnés en eau *claire,* et le service marche sans interruption, et la compagnie de Chelsea a établi à *Thames-Ditton* (voir le mémoire de M. Mille, *Annales des ponts*) une magnifique usine marchant avec un calme et une douceur absolue, poussant l'eau dans une conduite de refoulement dont la longueur développée atteint 18 kilomètres.

Que d'autres s'occupent à grouper en tableau les très-nombreux appareils élévatoires desservis par machines à vapeur et alimentant des villes importantes, en Angleterre, en France, en Prusse, aux États-Unis, ailleurs encore, et fonctionnant régulièrement. L'exemple emprunté à Londres, la ville aux deux millions d'âmes, suffit pour le moment à mon argumentation.

Et je me crois autorisé à dire :

Les deux machines de Chaillot ne prouvent rien, dans l'espèce, sinon qu'on fera bien de ne pas reproduire d'autres spécimens de cet essai peu heureux !

Loin de moi la pensée de contester le mérite connu de l'ingénieur qui les a conçues, le talent du constructeur qui les a exécutées : pas n'est besoin; mais je dirai ceci encore :

Dans une semblable entreprise, peut-être est-ce une combinaison regrettable, celle qui consiste à scinder la responsabilité de la conception, de l'étude et de l'exécution, et à la répartir *entre un ingénieur et un constructeur*, qui se gênent mutuellement, en s'imposant mutuellement, de dessein préconçu ou de guerre lasse, des données, des dispositions plus ou moins mauvaises.

La France est, Dieu merci, très-riche à cette heure en constructeurs habiles et puissants, qui sont eux-mêmes des ingénieurs très-habiles aussi. Choisissez entre ces grands noms, qui ont fait leurs preuves, une, deux, trois maisons puissantes, en même temps que très-habiles dans l'exécution, dans la conception, et bornez-vous à leur donner le programme que voici, par exemple :

« Livrer dans un temps donné aux ingénieurs de la ville de Paris le plan des fondations de la prise d'eau, des machines élévatoires, de l'agencement

7

général des machines motrices et des opérateurs, en fixant le diamètre des colonnes de refoulement.

« Dans un autre temps également donné, livrer les machines et les appareils élévatoires qui devront, dans un délai fixé, prendre en Seine et conduire à une hauteur de N mètres au-dessus de l'étiage, en un point déterminé, X mètres cubes d'eau par heure.

« Sous la condition imposée et dûment consentie que le mètre d'eau livré au réservoir correspondra à une dépense de combustible maxima déterminée (les machines en marche normale, bien entendu), avec 2 ou 3 vitesses possibles. »

La responsabilité propre du constructeur étant d'ailleurs bien écrite, bien définie, et par cela même toute franchise d'allures lui pouvant être laissée parallèlement aux garanties qui lui auront été demandées.

Allant plus loin encore, si l'on veut, assurez au constructeur une prime calculée en raison des économies de combustible, du degré de régularité de la marche des appareils, soit dans les temps de marche normale, soit dans les temps de marche à vitesses un peu forcées.

Cela fait, l'administration, libre de tout souci, dégagée d'une responsabilité que d'autres auront acceptée, et ses ingénieurs, libres de toutes études de construction de machines, pourront attendre avec confiance, en reportant, l'une toute sa sollicitude, les autres tous leurs soins et toutes leurs facultés, sur l'étude des conduites de distribution, sur la construction des usines, des bassins, des réservoirs, etc.

Un peu de concurrence après cela, mais pas trop, car il y a écueil possible à vouloir acheter des machines à trop bon marché! Mieux vaut payer largement et avoir de bons, de très-bons appareils, dans lesquels la matière, et les surfaces de frottement, etc., ont pu être largement et judicieusement réparties.

Qu'il en soit fait ainsi, et les services hydrauliques de Paris seront assurés, économiquement obtenus, avec des dépenses d'établissement très-sérieusement réduites relativement à celles que j'ai supposées.

Il importe de faire observer que je n'ai indiqué ce recours direct aux constructeurs qu'à titre d'exemple, sans même vouloir examiner, pour l'instant, si ce mode d'exécution offrirait le maximum des garanties possibles, tout en dégageant la responsabilité des ingénieurs de la ville. Rien n'empêcherait qu'à l'exemple de l'Angleterre, on appelât tous les ingénieurs à prendre part à un concours ouvert sur un programme donné, laissant aux concurrents toute liberté d'action touchant le mode d'exécution, à leurs risques et périls, du projet qui aurait emporté les suffrages.

A cette première objection basée sur une prétendue « fragilité des ma« chines, cette création compliquée du génie de l'homme », qui, vraie pour l'Alma et l'Iéna, reste sans force devant cent autres exemples qu'il serait facile d'accumuler, M. le Préfet en fait succéder une autre, ainsi formulée :

« Le second inconvénient des appareils élévatoires à vapeur, c'est de ne « pouvoir fonctionner qu'au moyen d'une coûteuse combustion et sous la « main d'ouvriers d'élite... »

Si l'on met en regard de cette objection les chiffres précédemment établis pour le prix de revient du mètre cube d'eau élevée à 83m.50 au-dessus du niveau de la mer :

En adoptant le devis de M. le Préfet	En supposant un double aquéduc	En admettant l'augmentation de dépenses prévue par les hommes compétents	Elévation d'eau prise en Seine
0 fr. 061	0 fr. 08	0 fr. 102	0 fr. 046
(1)	(2)	(3)	
Dans le système projeté de dérivation			*Machines à vapeur conduisant des pompes*

On voit que la « coûteuse combustion » et « la dépense journalière très-considérable » se traduisent, en fin de compte et ce jusqu'au jour où l'amortissement sera parachevé, par une *économie quotidienne* dont voici les chiffres pour chacune des hypothèses qui viennent d'être indiquées :

(1)	(2)	(3)
1,500 fr.	3,400 fr.	5,600 fr.

Afin qu'il demeure établi que ces économies, loin d'avoir été exagérées par mes évaluations, sont au contraire inférieures très-notablement à la réalité possible, je vais emprunter à des traités anglais sur la matière diverses données :

East London. . . .	— d'après M. Wicksteed 1,000,000 gallons élevés à 100 pieds coûtent.	12 s.	6 d.
Liverpool. . . .	— d'après M. Duncan.	18	1
id.	— —	15	9
Sowthwark.	— d'après M. Hughes.	12	0
Wolverhampton. . .	— d'après M. Hocking.	10	0

Ces données *acquises* répondent, pour le prix du mètre cube élevé à 55m.00, à :

0 fr. 00620
0 00897
0 00780 } dont la moyenne = 0 fr. 00705.
0 00595
0 00645

Dans ces prix le combustible entre pour $\frac{7}{12}$ environ; la houille coûte à Paris, hors barrière, deux fois plus cher qu'à Londres sensiblement, et il faut, en conséquence, augmenter de 0 fr. 00412 la moyenne trouvée, qui devient ainsi. . . . . 0 fr. 01117

Il y faut ajouter encore la somme annuelle à servir pour les intérêts et l'amortissement du capital engagé, c'est-à-dire pour reproduire chaque année une somme que nous avons trouvée égale à 940,000 fr.;

Soit donc pour 36,500,000 m. c. par an, ou pour 1 m. c. livré aux réservoirs supérieurs. 0 02575

Ainsi le prix de revient du mètre cube serait fixé à. . . 0 fr. 03692

Or, mes évaluations précédentes, les mains-d'œuvre de filtrage et d'entretien des filtres non comprises, m'ont donné. . . . . 0 fr. 0425

Je me crois donc fondé à le tenir comme certainement exact.

En ce qui touche le besoin d'ouvriers d'élite, je réponds que je crois avoir largement compté leurs salaires; à ceux qui se préoccuperaient encore à ce sujet, il suffit de rappeler l'immense personnel de mécaniciens et de chauffeurs que possède la France aujourd'hui, entre lesquels un grand nombre sont des hommes jeunes, habiles et remarquablement intelligents.

Je leur dirai enfin : Il y a peu de temps encore, on faisait cette même objection à ceux qui croyaient à la prompte diffusion des locomobiles en France; voyez la fortune qui leur est advenue, et comptez le nombre des conducteurs dont elles disposent en ce moment.

Ainsi répondues, les objections contre l'élévation d'eau par machines restent sans force, si je ne me suis pas abusé; mais, en dehors du point de vue mécanique, il en existe d'autres que je vais examiner.

On veut livrer à la consommation parisienne de l'eau ***pure, claire*** et ***fraîche***. Nous devons donc rechercher si l'eau de la Seine, prise en amont de Paris, peut satisfaire à ces trois conditions : pureté, clarté, fraîcheur.

Or, voici ce que nous lisons dans le mémoire de M. le Préfet :

« L'eau de la Seine ne contient aucune substance minérale insalubre ou « incommode; mais elle est toujours chargée, même au-dessus de Paris, « de matières organiques ***dans une assez large proportion.*** »

Ailleurs et dans le même document : « Le goût des populations ne s'y « trompe guère... Toutes choses égales d'ailleurs, l'eau la moins saturée de « sels calcaires est ordinairement celle que le public préfère. ***L'eau de « Seine,*** par exemple, ***dont le degré (hydrotimétrique) moyen est de « 17° ou 18°, au pont d'Ivry,*** JOUIT D'UNE JUSTE CÉLÉBRITÉ : ***elle est au-***

« *jourd'hui mise au premier rang des eaux de Paris*, soit par les con-
« sommateurs, soit par les industriels; et en effet, il n'en faudrait pas
« chercher d'autre... si elle n'était presque toujours trouble, trop chaude
« ou trop froide, et altérée dans sa qualité même par des détritus orga-
« niques. »

Ailleurs encore : « L'indication hydrotimétrique moyenne du mélange des
« eaux dont l'énumération précède (1), et de celles des vallées de la Somme
« et de la Soude, oscillerait entre 17 et 18 degrés. »

« L'eau ainsi cotée est excellente pour la consommation et bonne pour
« tous les usages domestiques. »

Relativement à la « proportion large » de matières organiques contenue dans l'eau de Seine, au pont d'Ivry, je réponds à cette assertion en empruntant au 1[er] et au 2[e] mémoires de M. le Préfet une analyse très-complète, présentée par M. Belgrand, et dans laquelle on lit :

	Seine	Sourdon
Matières organiques	*Traces* sensibles	*Traces* à peine sensibles

Entre ce mot : TRACES, inscrit dans une analyse complète, tenant compte du milligramme par rapport au litre, et ceux : « assez large proportion », dont a parlé le mémoire préfectoral, il y a un très-grand écart, ce me semble. De plus, le Sourdon contient, lui aussi, des traces de matières organiques, et les porterait à l'aquéduc projeté, auquel il doit fournir 9,000 m. c. sur 100,000.

Ainsi, au point de vue de l'hydrotimétrie, aussi bien qu'à celui de la *pureté*, l'eau de Seine prise à Ivry *marche de pair*, et cela d'une façon absolue, avec l'eau que conduirait à Paris l'aquéduc projeté.

Abordons maintenant la condition *Clarté*.

Sur ce chef, M. le Préfet reconnait que le filtrage rend à l'eau sa « limpidité »; mais il a cru pouvoir ajouter :

« La pratique en grand du filtrage appliquée à l'eau d'un fleuve aussi li-
« moneux que la Seine est d'un succès au moins douteux. »

C'est là, qu'il me soit permis de le faire remarquer, une assertion gratuite, peut-être même inexacte, d'abord parce que la Seine, avant d'avoir reçu les eaux de la Marne, n'est pas exceptionnellement limoneuse, si je ne me trompe; et ensuite parce que l'assertion dont il s'agit est contredite par les résultats de filtration en grand obtenus chaque jour, et depuis longtemps, avec les bassins de filtrage des Water-Works, à Londres, Paisley, Dukinfield, Nottingham, Preston, Glasgow, Chester, Wolverhampton, Norwich, etc., en Angleterre et en Écosse; à Carcassonne et à Toulouse en France.

Ainsi, rien n'autorise à croire et à dire que le filtrage en grand doit réus-

(1) Coole, Berle, Sourdon, Surmelin, Dhuis.

sir moins heureusement à Paris que dans l'une quelconque des villes indiquées, s'il est appliqué aux eaux de la Seine prises en amont du pont d'Ivry, et si les filtres sont bien établis, bien entretenus.

Puisque je viens d'indiquer le point de la Seine où devrait être empruntée l'eau à élever, il convient de dire que les bassins de dépôt et de filtrage pourraient y être établis et organisés, soit dans le système de ceux des compagnies de Lambeth et de Chelsea, à Thames-Ditton, soit dans tout autre système sanctionné de même par une expérience déjà longue. Les eaux filtrées pourraient ensuite, par une ou plusieurs conduites souterraines, se rendre aux diverses usines projetées pour desservir Paris, et être élevées de là aux réservoirs, convenablement fractionnés. Ainsi l'emplacement des usines élévatoires resterait complétement libre.

J'ai tenu compte ailleurs des frais afférents aux opérations de filtrage, en calculant très-largement le capital nécessaire pour l'installation de ce vaste service.

Donc, et en se bornant à imiter une pratique journalière, en vigueur dans beaucoup de localités déjà, on obtiendra chaque jour en *eaux filtrées* aussi complétement qu'on le voudra les 100,000 m. c. demandés, et il ne me reste qu'à examiner, en la réduisant à ses termes vrais, la condition de fraîcheur, ce grand *desideratum* inscrit au programme de M. le Préfet de la Seine.

Les usages domestiques, le blanchissage du linge, les services publics ou privés d'arrosage, l'industrie tout entière enfin, n'ont nullement besoin que l'eau qui leur doit être livrée ait une température inférieure à 15 degrés, par exemple.

A l'homme seul et aux animaux il importe que la température de l'eau destinée à étancher leur soif n'excède pas 12°; et il serait prudent, au point de vue de l'hygiène, que les liquides qu'ils consomment ne fussent jamais pris à plus basse température.

Si donc nous fixons à 5 litres par jour et par habitant la quantité d'eau à boire qui doit être livrée à une ville de 1,200,000 âmes pour la boisson quotidienne des hommes et des animaux qui vivent à Paris, nous aurons calculé bien largement, je crois, la *quantité d'eau* FRAICHE qu'il est très-désirable de pouvoir livrer à Paris pendant les jours d'été, alors que le thermomètre se maintient entre 15 et 30°. C'est donc en tout 6,000 m. c., ou 6 p. 0/0 du volume que l'on veut conduire au réservoir de Belleville, et 2 1/2 p. 0/0 du volume total dont disposera la ville de Paris. Telle est *la très-faible portion des eaux de Paris* qu'il importerait, en effet, de livrer à une température toujours inférieure à 15 degrés.

Le nombre des jours de l'année pendant lesquels la température des eaux de la Seine, à Paris, dépasse 15°, n'excède pas 120, d'après les tableaux dressés par M. Belgrand.

Voici donc comment se présente la question : *Pour livrer à Paris, dans une année,* 6000 × 120 = 720,000 *m. c. d'eau, au-dessous de* 15 *degrés, faut-il dépenser chaque année* 2,040,000 *de francs?*

Soit 2 fr. 83 c. par mètre cube d'eau fraîche désirée.

ou 0 fr.0028 *par litre?* ou 0 fr 015 par habitant et par jour pendant cent à cent vingt jours.

Or, d'après les calculs contenus au Mémoire, « les habitants de Paris payent annuellement pour leur consommation d'eau, 7,290,000 fr. pour 1,380,000 m. c. » — Soit *plus de 5 fr. par mètre cube.*

Les usines terminées, on pourrait livrer les 100,000 m. c. à raison de 10 c., 15 c. au plus, au rez-de-chaussée de chaque maison.

Qui donc songera à demander de l'eau fraîche en outre d'un bienfait de cette importance?

Quant aux accidents que l'eau glacée, dans les jours d'hiver, peut causer dans les conduites, on les sait éviter aujourd'hui par des soins et des précautions bien connus : faut-il donc se préoccuper à ce sujet?

Mais je n'ai même pas à abandonner ce point de la discussion (le degré de fraîcheur de l'eau), car je peux faire voir que M. le Préfet a eu des craintes peu fondées sur la température en été des eaux qui auraient été empruntées à la Seine et élevées aux altitudes voulues.

M. le Préfet aurait certainement raison d'affirmer que, dans le réservoir, l'eau doit se maintenir à une température peu inférieure à celle de la rivière, si cette eau, avant d'arriver au réservoir, ne devait pas courir dans une conduite de refoulement d'une assez belle longueur, quoi que l'on fasse. Mais pendant ce voyage à travers une conduite métallique et *par conséquent conductrice,* la température de l'eau ne peu manquer de s'abaisser très-notablement, et l'eau doit arriver au réservoir très-sensiblement rafraîchie. Puis elle aura à circuler dans les conduites de distribution, métalliques encore, et très-bonnes conductrices; elle se mettra bientôt et se maintiendra en équilibre de température avec le milieu ambiant, soit à 10° ou 12°, si ces conduites sont assez profondément enfouies dans le sol ou suspendues aux piédroits des voûtes d'égouts. Elle arrivera donc très-suffisamment fraîche au rez-de-chaussée des maisons, aux bornes-fontaines, à tous les orifices de jaillissement.

Ainsi l'on voit disparaître, sans qu'il soit besoin de forcer aucun raisonnement, aucune hypothèse, le dernier, et l'un des plus spécieux entre les arguments qui ont conduit M. le Préfet de la Seine à couvrir de son haut patronnage un projet, qui serait une œuvre de la Rome des Césars à la fin de notre dix-neuvième siècle; à préférer une solution hérissée de délicatesses, d'inconnues et de difficultés considérables, à une solution qui s'appuie sur des faits acquis et nombreux, qui se continue chaque jour et depuis des années en cent lieux divers.

Parvenu au but de la tâche définie que je m'étais imposée, je laisse à d'autres, entre nous, le soin de traiter la question des moteurs hydrauliques, convaincu qu'ils arriveront à des résultats plus économiques encore que ceux indiqués par moi dans la solution par machines à vapeur.

Toutefois, dans cette seconde discussion on rencontrera quelques arguments sérieux signalés par M. le Préfet, mais qui sont loin d'être sans réplique. J'en ai la conviction, lorsque je me rappelle les différents projets par moteurs hydrauliques étudiés à fond, comme celui de M. Mary, comme

celui de M. Girard, ou seulement proposés, comme celui qui appliquerait la force motrice hydraulique créée jadis au canal Saint-Maur à faire mouvoir des pompes refoulant une eau empruntée à une dérivation de la Seine et filtrée.

J'entrevois d'ailleurs une solution complète, inattaquable et essentiellement économique, dans une combinaison sagement conçue des deux systèmes de moteurs, appliqués tour à tour pour mettre en jeu les appareils élévatoires.

Je terminerai donc cette trop longue discussion en empruntant au mémoire préfectoral son dernier argument : « *Expérience passe science* ».

Je ne puis prévoir ce que dira l'*expérience* sur le projet de dérivation hérissé de tant d'écueils, œuvre remarquable *de la science*, car celle-ci a seule parlé encore ; et l'on ne saurait invoquer l'appui de l'expérience, puisque nul ne peut dire ce que produira le drainage profond destiné à rejoindre et à épancher ces nappes souterraines trop peu connues, quoi que l'on puisse dire.

L'expérience dit, au contraire, ce que peuvent, ce que valent, ce que coûtent, les moteurs à vapeur, les moteurs hydrauliques, les filtres en grand, etc., etc.

J'ai fini, Messieurs ; trop heureux si j'ai pu ne pas vous fatiguer par cette longue discussion, dans laquelle j'ai voulu de si grand cœur, et de si bonne foi, éviter les graves inconvénients du PARTI PRIS.

Sur la proposition de M. Baudouin, la Société décide que la communication qui vient d'être faite par M. Faure doit être publiée in extenso dans le Compte rendu de la séance.

M. Edm. Roy donne lecture d'une note sur l'application des moteurs à vapeur à l'élévation des eaux de la Seine pour l'alimentation de Paris.

M. Roy expose qu'en prenant les eaux à Charenton, immédiatement en amont de la route du pont d'Ivry, le projet lui semble comporter les deux dispositions principales suivantes :

1re *disposition.* — Envoyer les cent mille mètres cubes au réservoir prévu à Belleville par M. le Préfet de la Seine pour l'arrivée des eaux de la Somme-Soude ;

2me *disposition.* — Diviser en deux points, tant comme distance que comme altitude, les réservoirs destinés à recevoir les eaux pour l'alimentation de Paris.

Cette dernière disposition est la seule qui paraisse admissible à M. Roy dans le cas de l'élévation des eaux par des machines.

Dans les deux cas, dit M. Roy, un bassin recevant les eaux de la Seine à travers une digue en gravier formant filtre serait établi sur la rive droite de la Seine, immédiatement en amont de la route du pont d'Ivry. Ce bassin, formé en serpentin, aurait un développement de mille mètres, une section de cinq mètres carrés à l'étiage, de manière à ce que dans leur trajet les eaux puissent déposer dans les canaux du bassin de prise une grande partie de la vase qu'elles contiennent dans les moments de crues.

Dans le second cas, deux bassins d'une contenance de cent mille mètres cubes seraient substitués au bassin unique de Belleville.

Le premier serait établi sur les hauteurs de Saint-Maurice qui bordent la Marne dans le parc de Vincennes, où déjà l'on en établit un près de la redoute de la Gravelle pour le service des eaux du parc.

Ce premier bassin ne serait qu'à deux mille mètres de la prise d'eau et servirait pour toute la partie de Paris dont l'altitude est inférieure à 60m.

Le deuxième serait placé à la même altitude que le basin prévu à Belleville (83m.50), et servirait à l'alimentation de la partie supérieure de Paris; il serait placé sur les hauteurs de Fontarabie, et ne serait éloigné de la prise d'eau que de 7,000m.

Si, plus tard, la nécessité d'une alimentation à une plus grande altitude se faisait sentir, il serait beaucoup moins dispendieux d'établir à Vincennes ou à Belleville un nouveau train de machines reprenant les eaux en *seconde main* pour les élever à telle altitude que l'on jugerait convenable, en augmentant, bien entendu, la quantité d'eau envoyée à l'un de ces deux bassins. Cette solution éviterait une partie des dépenses de nouvelles conduites mères. Enfin, l'établissement de machines supplémentaires, avec leurs conduites et leurs bassins spéciaux, serait encore moins dispendieux que la construction d'un nouveau canal, ainsi que le fait entrevoir le rapport de M. le Préfet pour amener les eaux du Sourdon et de la Dhuis.

M. Edmond Roy donne ensuite le résumé des conditions et des dépenses d'installation qui résultent de son Projet.

Dans la 1re *disposition*, avec un bassin unique à Belleville, le volume d'eau élevé au bassin unique par vingt-quatre heures serait de 100,000 m. c.; l'altitude du réservoir, 83m.50; l'altitude de la prise d'eau, 26m.00; la capacité du réservoir, de 100,000 m. c.; le diamètre de la conduite, de 1m.10; la puissance motrice, de 1,250 chevaux; enfin le total des dépenses d'établissement serait, d'après M. Roy, de huit millions, et le prix de revient du mètre cube de 0 fr. 03 c.

Dans la 2me *disposition*, avec deux bassins d'arrivée, l'un à Vincennes, l'autre à Fontarabie, rendant chacun 50,000 m. c., soit ensemble comme dans le premier cas, 100,000 m. c. l'altitude serait pour le premier (Vincennes) de 64m., et pour le second (Fontarabie) de 83m.50; l'altitude de la prise d'eau étant toujours de 26m., le diamètre de la conduite serait de 0m.80 pour chaque réservoir.

Et la puissance motrice serait de 960 chevaux seulement; savoir : pour le premier réservoir de Vincennes, 370 chevaux; pour le deuxième réservoir, de Fontarabie, 590 chevaux.

La capacité de chaque réservoir étant de 100,000 m. c.

La dépense totale serait de 7,600,000 fr., et le prix de revient du mètre cube de 0 fr. 02 c. 68 seulement.

D'après le projet de M. le Préfet, la dépense totale d'établissement serait de 30,000,000, et le prix de revient de 0 fr. 04 c. 466 par mètre cube.

Les deux évaluations ne comportent que le prix de revient du mètre cube rendu aux bassins de réserve. Le prix de revient effectif total se

compose de ce premier prix, plus de celui des dépenses d'établissement et d'entretien des conduites dans la ville de Paris.

M. Laurens présente les observations suivantes : L'étude que M. Faure a faite du projet de dérivation de la Somme-Soude vient de mettre en évidence un résultat économique qui intéresse à un haut degré le consommateur : c'est que le mètre cube d'eau amené de la Champagne sur le plateau de Belleville par des aquéducs coûterait deux fois plus cher que si on le prenait à la Seine, au moyen de machines à vapeur. L'infériorité du projet des eaux de la Somme-Soude prise à cet unique point de vue, loin d'avoir été exagérée par M. Faure, nous paraît au contraire atténuée. Sans crainte d'être démenti par l'expérience, on pourrait, en effet, avancer que la complète réalisation de ce grand projet donnerait, en définitive, un prix coûtant de l'eau trois fois plus élevé, au moins, que celui des pompes à feu. Celles-ci la fourniraient à 3 ou 4 centimes le mètre au maximum, tandis que la dérivation atteindrait au moins le prix de 10 à 12 centimes, et peut-être même celui de 15 centimes, le mètre.

La limite supérieure, dans ce dernier cas, ne saurait même être fixée avec précision, vu les incertitudes de toute nature qui incombent à une opération de ce genre, où les difficultés de l'exécution viennent grossir le budget de l'imprévu, soumis déjà aux exigences si coûteuses de l'expropriation. Les eaux qui viennent de loin, de nombreux exemples nous l'apprennent, ont toujours coûté beaucoup plus cher qu'on ne l'avait prévu. Des erreurs de 50 p. 0/0 dans les appréciations en cette matière ont été fréquentes ; on en a vu de beaucoup plus considérables. Pour citer un exemple, nous rappellerons un travail qui, à bien juste titre, n'a reçu que des éloges, la dérivation de la Durance, destinée à l'alimentation de la ville de Marseille. L'estimation première allait à peine à 14 ou 15 millions; aujourd'hui la dépense a dépassé un chiffre trois fois plus élevé. Cependant aucune partie de ces constructions toutes romaines n'a dû être réprise pour cause de malfaçon ou d'accident imprévu ; aucune dépense inattendue n'a eu pour motif l'insuffisance du volume des eaux recueillies, puisque là, du moins, un certitude absolue avait toujours régné sur ce point.

Mais, comme on nous le prouvait tout à l'heure, il n'est pas besoin de recourir à de vagues éventualités pour motiver une augmentation notable du montant du devis de la Somme-Soude présenté à M. le Préfet de la Seine. La principale raison de cette augmentation ressort de ce qu'on ne saurait admettre avec l'auteur du projet qu'une seule et unique conduite de 183 kilomètres de développement puisse assurer, avec toute la sécurité nécessaire, un service réglé au débit de 100,000 mètres cubes par jour. Les bassins projetés, avec leur volume déjà considérable de 230 mille mètres cubes, sont loin de pourvoir aux prévisions, si faciles à justifier, d'interruption pour causes éventuelles et de chômage pour l'entretien ordinaire. Cependant on ne saurait songer à donner à ces réserves d'eau l'extension qu'exigeraient de semblables et si justes appréhensions. On est donc amené à doubler la conduite du projet primitif. Cette solution est d'autant plus facile à accueillir, que le système économique de construction assigné dans le

projet à la conduite unique est beaucoup plus accessible que les constructions antiques aux détériorations et aux ruptures. Remarquons d'ailleurs que cette artère supplémentaire, dont l'utilité nous semble incontestable, ne serait, ainsi qu'on l'a remarqué déjà, qu'une sage imitation des anciens. La multiplicité des aquéducs qui desservaient Rome mettaient à l'abri des interruptions et des chômages; d'ailleurs, les lieux principaux de la consommation y recevaient toujours, disent certains auteurs, et M. le Préfet de la Seine avec eux, les eaux de deux aquéducs.

L'installation de cette seconde conduite, en tout semblable à la première, double la dépense de premier établissement des aquéducs. Ce chiffre doit même être plus que doublé, car la conduite projetée se compose, sur la plus grande partie de son parcours, d'un tuyau en ciment romain, dont partie, de section elliptique, a une épaisseur de 22 centimètres, et l'autre partie, de section circulaire, une épaisseur de 25 centimètres. Ces dimensions sont bien faibles pour donner à d'aussi gros tuyaux de ciment, posés dans une tranchée, même avec tout le soin imaginable, une résistance qui les mette à l'abri des avaries et des ruptures par suite de tassement. Aussi regarderions-nous comme une nécessité d'augmenter très-sensiblement les épaisseurs indiquées. Dans ces conditions, le prix de 100 fr. le mètre courant pour le tuyau mis en place et y compris tous les accessoires nécessaires de regards, de vannes de garde, de vidanges, etc., etc., nous semble un chiffre bien difficile à réaliser. Cependant il produit déjà une somme de 17 millions pour une seule conduite et de 34 millions pour deux conduites; ce qui ne comprend pas encore l'achat des terrains nécessaires.

Les parties en aquéducs et en siphons, à peu près doublées également, donneront de leur côté un chiffre de 5 millions. Si nous reprenons sans les augmenter les 2,800,000 fr. portés au devis de l'administration pour les canaux de la prise d'eau, nous arrivons à un total de 41,800,000 fr.

Mais nous avons encore à y ajouter, avant d'ouvrir le chapitre des éventualités, l'achat des terrains, la surveillance des travaux, les pertes d'intérêts d'argent pendant leur durée, qu'il est bien difficile de déterminer, et enfin l'imprévu ordinaire que l'on attache à tous les devis de ce genre.

Une circonstance à mentionner qui tendrait à augmenter le prix indiqué tout à l'heure pour les conduites en ciment, c'est que leur cheminement s'effectue bien souvent sur la déclivité des coteaux, sur des parcours qui présentent fréquemment un sous-sol argileux : il y a donc des frais spéciaux à supporter pour s'opposer au ravinement par les eaux pluviales et les fuites possibles, et aux glissements contre lesquels les ingénieurs de chemins de fer savent se prémunir, mais avec de l'argent. Le chiffre de 41,800,000 fr. risque donc de rester au-dessous de la vérité.

Le devis présenté à M. le Préfet de la Seine fixait l'imprévu, les achats de terrains, etc..., à 7,175,000 fr., et les travaux proprement dits à 18,824,000; ensemble 26 millions, que le conseil des ponts et chaussées augmenta de 4 millions, somme dont la modicité s'explique par ce fait qu'elle ne portait sur aucune modification à l'ensemble des travaux projetés.

Nous croyons donc ne rien exagérer en arrondissant à 50 millions le chiffre auquel est arrivée notre estimation, pour y faire entrer l'imprévu ordinaire, les frais généraux et les acquisitions de terrains, soit à l'amiable, soit par expropriation.

Mais au-dessus de ce chiffre planent encore les grandes éventualités, dont l'appréciation anticipée est si périlleuse. Parmi elles, nous rangeons les expropriations des terrains irrigués et celles des usines, genre d'évaluation qui est si difficile dans une étude préliminaire ; enfin, la probabilité de la prise des eaux du Sourdon, qui ferait plus que doubler l'importance des expropriations d'usines.

Cette probabilité prend sa raison d'être dans l'incertitude du résultatque donnerait le drainage profond du plateau de la Somme-Soude, duquel on semble attendre la création d'un lac inépuisable ; comme l'étendue du bassin ne se trouvera pas accrue par cette opération, le volume des eaux apparent aujourd'hui nous donne, à très-peu près, croyons-nous, la quotité de celles que l'on recueillera par drainage. C'est là, du reste, une question fort délicate, que l'expérimentation seule peut décider.

L'alimentation de la ville de Lyon donna lieu, dans le temps où M. Terne était maire de cette cité, à un grand projet des ponts et chaussées, qui offre une frappante analogie dans ses principes et ses moyens d'exécution, avec celui de la Somme-Soude. On se proposait de recueillir les eaux sur un plateau de la Bresse situé à l'altitude convenable, et de les amener à Lyon, limpides et fraîches, par des aquéducs. Il serait intéressant de rechercher les motifs qui, à la réalisation, firent donner la préférence aux machines à vapeur puisant dans le Rhône, dont les grèves de la rive servent, d'un autre côté, de filtre naturel aux eaux, livrées aussi limpides que des sources pourraient les fournir, à la consommation des habitants. Disons en passant que, sur les bords de la Seine, on trouverait des terrains qui se prêteraient à une opération de cette nature, que le succès des filtres de Toulouse recommande depuis si longtemps.

Nous mentionnerons simplement, ne pouvant l'évaluer, un surcroît de frais qui doit frapper le prix du mètre cube des eaux de la Somme-Soude : il provient des modifications dans la canalisation actuelle des rues que nécessiterait la mise en pression de ses tuyaux sous l'excès de charge résultant de l'altitude de 83^{m}. et 80^{m}. ; l'alimentation de la majeure partie de Paris n'a pas besoin d'une pareille altitude. L'emploi des machines permettrait seul une distribution à plusieurs niveaux. Celui de l'aquéduc projeté, ayant admis un niveau unique pour toute la distribution, donne donc lieu à l'observation qui précède.

Enfin, dans le prix de revient du mètre cube des eaux amenées par des aquéducs, il ne faut pas négliger, quoique l'opinion commune se prête assez volontiers à un oubli de ce côté, les frais annuels d'entretien des constructions et de leurs accessoires si nombreux, ceux des accidents, ceux de la surveillance et du service journalier ; quand le parcours est considérable, ils croissent dans une effrayante proportion, et viennent, comme on l'a vu, et même au-delà de ce qu'on a vu, placer en regard des frais d'entretien des

machines à vapeur un chiffre qui fait considérer celles-ci avec un redoublement de faveur.

Le Mémoire de M. le Préfet de la Seine, en rejetant si péremptoirement la solution des machines à vapeur, ne fait, il faut bien le reconnaître, que poursuivre la réalisation d'une idée préconçue sur le genre de grandiose qui convient à une grande cité, l'émule de l'ancienne capitale du monde : car on ne saurait admettre comme motifs déterminants les reproches de fragilité, d'accidents répétés et d'interruption de service, adressés bien certainement en toute connaissance de cause aux nouvelles machines de Chaillot, mais qu'il serait souverainement injuste d'étendre aux pompes à feu en général : des faits nombreux sont une attestation irréfutable de ce que nous avançons. Que l'on s'en prenne au système des machines employées à Chaillot, mais non à la vapeur elle-même, et à ce que l'on en peut faire en suivant d'autres errements. Le résultat fâcheux que l'administration a recueilli prouve seulement que les voies et moyens adoptés par elle dans la circonstance n'étaient pas les meilleurs. La même conclusion répondrait à l'échec non moins considérable qu'elle vient de subir dans l'établissement des nouvelles machines hydrauliques de Marly, où fonctionnèrent jadis avec tant de célébrité les engins de Rannequin. Faudrait-il donc aussi condamner les moteurs hydrauliques, que de tous côtés, cependant, on vient étudier en France ?

Que l'administration prenne enfin autant de latitude qu'un simple particulier ; qu'elle demande seulement des résultats à obtenir sous des conditions déterminées, et que, pour l'exécution, elle appelle à une sorte de concours les ingénieurs compétents, en se bornant à exiger d'eux des garanties sérieuses de responsabilité.

Nous n'aurions pas à combattre le chiffre final du budget que M. Faure demanderait pour l'élévation des eaux de la Seine au moyen des pompes à feu ; il suffirait à toutes les prévisions. Nous en ferions peut-être une répartition un peu différente, en mettant *plus*, par exemple, à l'acquisition des machines, *moins* aux bâtiments et aux filtres. Déjà nous avons touché un mot des filtres naturels, dont l'application totale ou partielle permettrait une économie. Mais, tout en restant dans le système des filtres de Chelsea, que M. Faure semble avoir pris pour base de ses évaluations, il serait possible de donner moins d'importance aux appareils destinés à la filtration des eaux de la Seine. Les eaux de la Tamise sont d'une clarification difficile, tandis que celles de la pure Seine, prises avant le confluent de la Marne, sont, au contraire, assez faciles à clarifier; elles présentent à ce point de vue une différence marquée avec les eaux puisées dans Paris, alors que le mélange de la Marne et de la Seine est devenu complet.

M. le Président remercie MM. E. Roy et Laurens de leurs communications.

M. Faure et M. Laurens insistent sur l'utilité qu'il y aurait à ce que d'autres membres de la Société voulussent bien traiter d'une manière spéciale la question d'élévation d'eau par moteurs hydrauliques.

MÉMOIRE N° IV

Sur les projets présentés par MM. PARMENTIER et GUIBAL pour le percement des sables mouvants des puits de Bonne-Espérance, de la Société des charbonnages de Saint-Vaast.

Par M. Ch. LAURENT.

Les énormes difficultés qui se présentent souvent dans le fonçage des fosses destinées à servir de puits d'extraction dans les mines ont appelé depuis longtemps l'attention sur de nouveaux procédés destinés à remplacer les moyens ordinaires.

Dès 1830, Sauquaire Souligné proposait déjà, bien que l'art des sondages fût encore presque dans l'enfance, le forage de puits à énorme diamètre. Combattu dans ses idées par M. Degousée, ils choisirent l'un et l'autre pour arbitre de leur discussion notre célèbre et regrettable Arago. Sauquaire Souligné, esprit vif et entreprenant, combattu plutôt encore en raison du peu de ressource qu'offrait l'industrie de l'époque que par l'énonciation d'impossibilités réelles, s'irritant de ne pas voir accepter sans conteste ses idées à ce sujet, s'écriait, élargissant encore le cadre de ses projets : Oui, j'en ferai de plusieurs mètres de diamètre! A cela Arago lui répondit : Je demande seulement à voir la forge où se feront les outils.

Depuis cette époque l'art des sondages a progressé ; l'étude des terrains, l'ordre de leur superposition, leur nature plus ou moins compacte, desagrégée, ou même fluide, suivant les circonstances, la connaissance plus approfondie des veines ou niveaux aqueux, leur importance et leur influence sur les terrains qui les contiennent étant mieux connus, on a songé, aidé de ces nouvelles

lumières, à vaincre par des procédés nouveaux les difficultés qui devaient se présenter dans l'exécution des fosses destinées à traverser ces terrains.

Aujourd'hui, que les recherches de combustible surtout ont acquis une grande importance, on a cherché à agrandir le champ d'exploitation malgré les difficultés que l'on savait avoir à surmonter. Il suffit que la présence du charbon soit connue par des indications géologiques certaines, ou par le témoignage donné par des sondages, pour que l'on entreprenne des fosses d'extraction.

Un grand nombre de succès, dus à l'habileté des ingénieurs chargés de ces travaux, aux énormes moyens que l'industrie met à leur disposition et à la persévérance des compagnies, ont couronné ces efforts communs. Bon nombre de puits, réputés impossibles il y a une vingtaine d'années, vomissent aujourd'hui sur le sol d'énormes quantités de charbon.

A côté de ces succès, quelques défaites, d'autant plus éclatantes qu'on ne pouvait en rejeter la cause ni sur les hommes, ni sur les moyens employés, sont venues mettre en évidence des difficultés insurmontables par les moyens ordinaires, et ouvrir le champ à des recherches nouvelles.

En 1848, M. Kind, à Styring-lès-Forbach, commença le forage d'une fosse de 4m.20 de diamètre par sondage. Ce travail avait été précédé d'un forage au diamètre de 0m.65, qui avait permis d'étudier complètement le sol.

Les outils se composaient :

1° D'un trépan combiné de manière à attaquer le terrain par la percussion d'un énorme ratelier présentant dix-neuf dents fixées au moyen de chevilles en fer ou en acier, et à peu près semblable à celui présenté par M. Mulot à l'exposition universelle : cet outil pesait 4 à 5,000 kil.;

2° D'un outil dragueur ramenant les détritus dans une soupape

que l'on introduisait dans l'avant-trou; ayant, ainsi que nous l'avons dit, 0m.65 de diamètre.

Le trépan recevait son mouvement de percussion par un cylindre à vapeur spécialement affecté à cet usage, et une machine ordinaire de douze chevaux servait aux autres manœuvres de l'opération.

Le projet de M. Kind consistait donc en un véritable sondage, qui, pénétrant le sol sans nécessité d'épuisement, aurait traversé tous les terrains supérieurs contenant des niveaux aquifères, et serait parvenu jusque dans le terrain houiller, que l'on sait ne plus donner passage à l'eau. Arrivé au point voulu, un cuvelage en bois, formé de madriers taillés en voussoirs et réunis en cylindres, aurait été descendu jusqu'au fond du sondage. Ce cuvelage devait laisser entre lui et les parois du puits un espace annulaire de 0m.15, que l'on devait remplir au moyen d'un ciment hydraulique, qui, après avoir été suffisamment tassé, aurait acquis un degré de solidification suffisant pour boucher toute issue aux eaux, permettre l'épuisement du trou jusqu'à siccité, et continuer le fonçage par les moyens ordinaires.

Un peu plus tard, M. Mulot, dans le Pas-de-Calais, entreprit également une fosse par des procédés analogues.

Nous nous sommes toujours prononcé contre ce projet (Notice sur le sondage à la corde, 1853) :

1° Parce que, si les procédés de sondage étaient faciles et exécutables dans de bonnes conditions, ce n'était que dans des terrains où le mineur pouvait agir plus économiquement et plus sûrement pour l'avenir;

2° Parce que, dans des terrains meubles et éboulants, lorsqu'ils se trouvaient à quelque profondeur de la surface, les sondages dans les dimensions ordinaires présentaient des difficultés telles, qu'il était bien téméraire de tenter avec quelque chance de succès l'introduction de tubages pouvant garantir des éboulements sur

des surfaces considérables sans avoir recours à des séries de diamètres nombreux et coûteux;

3° Parce que, lors même que, comme à Styring, le travail se présenterait dans de bonnes conditions de terrain, qu'un tube pourrait être descendu en place convenable, la jonction parfaite de la base de ce tubage avec le sol ne serait jamais assez complète pour s'opposer à l'envahissement des eaux, quand même une certaine épaisseur de béton aurait été déposée au fond du trou de manière à baigner la base du cuvelage;

4° Parce que la descente du ciment hydraulique, dans un espace annulaire de 0m.15 entre le tube et le terrain, était impossible dans ces circonstances, et que de ce fait seul résulterait évidemment la perte de tous les travaux exécutés. En effet, il faut, pour descendre un tubage de ces dimensions à quelque profondeur, des soins très-grands, et par suite un temps assez long. On ne peut admettre que, même dans les meilleurs terrains, s'ils laissent passage à des eaux, il n'existe un certain charriage qui forme une série plus ou moins grande d'éboulements; que certaines couches ne soient susceptibles de se gonfler, de couler et de venir prendre une partie de l'espace réservé au ciment, et détruire ainsi tout espoir d'une soudure parfaite, entièrement imperméable entre le tube et le terrain. Il peut donc résulter de ces faits une grande probabilité qu'en fin de travail on ait accumulé derrière le tube toutes les nappes d'eau que le mineur eût combattues successivement, et qu'elles viennent exercer d'énormes pressions sur le tubage, ou surgir énergiquement au pourtour de sa base sous le béton, lorsque l'on tente l'épuisement intérieur;

5° Parce qu'enfin, les ciments hydrauliques, quelque parfaits qu'ils fussent, n'avaient pas encore été employés dans des conditions qui permissent d'être très-sûr qu'ils pénétraient dans des espaces restreints à de grandes profondeurs sans se décanter plus ou moins dans le chemin qu'ils devaient parcourir pour arriver au fond; que, sous de fortes pressions, on ne savait pas non plus

quelles règles ils suivaient dans leur prise et le retrait qu'ils pouvaient subir, et qu'enfin les eaux d'un puits profond étaient, par suite des différences de température entre le fond et la surface, soumises à des mouvements héliçoïdaux assez énergiques pour ne pouvoir être considérées comme en état de repos, même lorsqu'il n'y a pas d'écoulement visible à ou près de la surface.

Ce sont ces motifs réunis qui nous ont toujours fait repousser toute tentative par ces moyens.

Un bulletin de la Société d'encouragement (1856), contenant une notice sur le puits artésien de Passy, nous a appris que le puits de Styring, après avoir atteint le terrain houiller à 80^{m}.72, était descendu à 110^{m},53 ; soit 30 mètres dans ce terrain; qu'alors on avait procédé au cuvelage et au bétonnage non-seulement des parois extérieures, mais encore qu'une certaine épaisseur de ciment avait été descendu au fond.

Lorsque l'on crut que le ciment avait acquis le degré de solidité sur lequel on comptait, on procéda à l'épuisement; mais presqu'aussitôt on commença à s'apercevoir que l'on ne pouvait dépasser la profondeur de 45 mètres. L'auteur de cette notice ajoute qu'après de nombreuses recherches on reconnut que la couche de béton qui recouvrait le fond avait été soulevée, et que l'eau avait dû jaillir en abondance par l'ancien trou de sonde de 0^{m}.65 de diamètre percé primitivement jusqu'à 100 mètres au-dessous de la base du cuvelage.

Cette explication est assez difficile à comprendre. On admet généralement que le terrain houiller contient peu ou pas d'eau; le cuvelage du grand puits étant descendu de 30 mètres dans ce terrain, ce qui restait du forage devait s'y trouver aussi et ne pas donner d'eau. De plus, le béton coulé au fond devait s'y introduire et le boucher au moins en partie. Il est à remarquer que, si le coulage du béton entre l'extérieur du cuvelage et le terrain est difficile, il est beaucoup plus facile de le déposer au fond d'un puits de grand diamètre, puisqu'on peut, à l'aide d'instruments, le

descendre à l'abri du lavage. Il eût été intéressant et prudent, avant de procéder à l'épuisement, de prendre un échantillon de ce béton, qui eût prouvé clairement son état de prise.

Il nous semble donc plus simple d'admettre que c'est à l'extérieur de la colonne que le bétonnage a pu être imparfait; qu'alors les eaux extérieures ont dû, en vertu de la différence de pression occasionnée par l'épuisement intérieur, se faire jour sous la base du cuvelage, et déranger le béton qui se trouvait au fond du puits en état d'être soulevé.

Nous ferons remarquer que, dans le bassin houiller où cet essai a été fait, il n'y avait pas encore lieu de désespérer de la réussite d'un fonçage par les moyens ordinaires, puisqu'à la suite de cette tentative on est arrivé à pratiquer une fosse avec beaucoup moins de temps et d'argent; qu'une seconde a passé ses niveaux, et qu'une troisième, quoique éprouvant des difficultés, est près d'arriver au but.

Cependant, malgré cet échec, M. Maurice, l'auteur de la Notice que nous citons, pense que, « si la seconde partie du travail de la fosse de Styring était manquée, il n'en restait pas moins démontré la possibilité de forer sur un grand diamètre, à l'aide des procédés imaginés par M. Kind. Les avantages d'un pareil système sont faciles à saisir; ils résident surtout dans la rapidité d'exécution et dans l'économie de la dépense. C'est à ce point de vue, dit-il, que l'invention est une importante conquête acquise à l'art des mines. Il est bien des cas, en effet, où le percement du puits par le nouveau procédé, indépendamment de la pose du revêtement, présenterait un grand avantage, en ce sens qu'il exigerait une mise de fonds beaucoup moins grande pour commencer le travail, et qu'il ne faudrait établir de puissants moyens d'épuisement qu'après avoir touché le gisement et acquis quelque certitude sur sa nature et sa richesse. »

Nous ne partageons pas cet avis, et nous nous rangeons plus volontiers à l'opinion émise par M. Guibal, auteur d'un système

que nous allons essayer d'analyser, qu'*en pareille matière, quelque près qu'on approche du but, on n'a rien fait s'il n'est atteint* (1).

En 1856, M. Guibal, ingénieur des mines, professeur à l'école du Hainaut, proposa à la Société des charbonnages de Saint-Waast un procédé qu'il avait étudié en 1854 pour le percement des fosses d'extraction dans des terrains de sables mouvants et aquifères, que le mineur n'avait pas osé affronter jusque alors.

Avant d'adopter ce projet, la Compagnie de Saint-Waast ayant pris M. Guibal pour directeur-gérant, et établi près de lui un comité consultatif d'ingénieurs qui s'était déclaré favorable aux propositions faites, ne s'en tint pas cependant à ce premier avis; et, en raison de la grande importance de la question, du consentement du comité, et pour ainsi dire à sa demande, prit encore le parti de la soumettre à une commission spéciale, composée des personnes les plus recommandables sous tous les rapports. Elle se composait de :

MM. A. Toilliez, ingénieur du premier district des mines ;
A. Delaroche, ingénieur directeur du charbonnage de Strépy ;
A. Hancart, ingénieur directeur du charbonnage de Louvière ;
E. Merlin, ancien ingénieur, directeur de charbonnage ;
G. Lambert, ex-ingénieur du corps des mines.

Cette commission avait à examiner, en concurrence, un projet présenté par M. Marc Parmentier, qu'elle écarta pour donner son assentiment à celui de M. Guibal.

(1) Dans un tableau dressé par la compagnie des sondages Kind, arrêté au 31 mars 1856, nous trouvons parmi les travaux exécutés depuis 1849, pour la concession de Styring, deux puits de 4^m.15, l'un de 110 mètres exécuté en 24 mois, l'autre de 68^m exécuté en 6 mois. M. Maurice ne dit rien de cette seconde tentative.

Ces deux projets, décrits dans le rapport de la commission à la Société du charbonnage de Saint-Waast, avaient également pour but la continuation à travers les sables de la fosse de Bonne-Espérance, appartenant à cette Société. Ce puits avait atteint, par les procédés ordinaires, la profondeur de 72^{m} 84, et avait rencontré les couches argileuses, base des niveaux supérieurs, qu'il a traversé. Il est muraillé sur une hauteur de 19^{m} 80, à partir de la surface. Le reste est revêtu d'un cuvelage octogonal régulier, dont le cercle inscrit a pour diamètre 2^{m} 50, et qui repose sur deux forts siéges superposés, établis à la profondeur de 70^{m} 84; il restait dans le fond de ce puits une partie de 2^{m} dont les parois n'exigeaient aucun revêtement. On était parvenu à cette profondeur au moyen d'une machine d'épuisement de la force de quatre-vingts chevaux environ, faisant mouvoir deux pompes étagées, de 0^{m} 36 de diamètre, et d'une autre machine d'extraction de 10 à 12 chevaux. Par des sondages antérieurs, il était reconnu qu'au-dessous de cette profondeur de 72^{m} 84, on aurait à traverser, pour atteindre le terrain houiller, 9^{m} 30 de terrain argileux, et 24^{m} 75 de sables mouvants, qui avaient présenté pendant le sondage un phénomène remarquable, celui de l'absorption instantanée de l'eau contenue dans les tubes du sondage; à la suite de cette eau les sables montaient dans le trou de sonde à des hauteurs considérables.

Telles étaient les données du problème, pour la solution duquel MM. Parmentier et Guibal proposaient les projets suivants :

PROJET DE M. PARMENTIER, PL. 8, FIG. 1 ET 2

A A, est un cylindre en tôle placé dans la partie exécutée du puits et destiné à traverser les argiles supérieures aux sables, les sables eux-mêmes, et à pénétrer dans le terrain houiller.

BB est une forte masse de maçonnerie entourant le puits à sa partie supérieure, établie ou à établir, destinée à fournir un point

d'appui à quatre presses G G... A cet effet, de fortes pièces de bois F, F, sont placées à l'orifice du puits, et reliées par de longs e forts boulons à la partie inférieure de la masse, en D, D.

Les pistons de ces presses, H, H, agissent sur le cylindre A par l'intermédiaire des pièces EE qui posent sur lui.

Un mouton Q, Q, très-pesant, formé de deux pièces et assujetti sur la tige P, P, au moyen du collet R qu'il embrasse, vient en aide par son choc aux presses hydrauliques; il frappe sur les pièces de bois E,E.

Pour le manœuvrer on agit sur le balancier Z, à la tête arquée M duquel la tige P est suspendue par la chaîne N. Ce balancier repose par son tourillon O sur une masse de maçonnerie, à laquelle il est assujetti par le système de charpente K.

La tige P, assemblée par des manchons à vis q, q, et munie d'étriers d'allongement t, t, va jusqu'au fond du puits, où elle sert à faire manœuvrer un trépan T, soit par battage, soit par rotation.

Ce trépan se compose de deux fortes branches, o, d, d, qui sont reliées à la partie inférieure par une lame f. Vers la partie supérieure, elles reçoivent une traverse a a, à laquelle sont articulées deux autres branches, ab, qui se terminent par deux lames, l'une b, comprise dans le plan général de l'outil et s'engageant, à la manière des verrous, dans les branches d, d, et l'autre g, g, placée perpendiculairement à la précédente, à l'effet d'attaquer les parois de l'excavation et de l'aléser. Enfin, un cinquième bras, ehT, qui peut se mouvoir verticalement dans la traverse a a, reçoit deux pièces articulées kh. Au moyen d'une tige secondaire, qui n'est pas représentée dans la figure, on peut faire jouer la branche ehT. Quand on la soulève, elle agit par les pièces hk sur les branches ab, et les rappelle vers le centre du puits; l'instrument peut alors passer dans le cylindre. Quand on la pousse de haut en bas, elle éloigne les bras ab, et porte les lames g, g, sous le cylindre, dont elles frayent le passage.

PROJET DE M. GUIBAL, PL. 8, FIG. 3, 4, 5 ET 6.

La partie supérieure de la fig. 5, et celle à droite de la fig. 4, représentent la portion du puits exécutée par les moyens ordinaires; la partie inférieure de la fig. 5 et celle à gauche de la fig. 4 représentent le travail dans les sables.

A A, est le cuvelage octogonal dont le puits est ou doit être revêtu. B B B est un prisme octogonal offrant intérieurement les dimensions extérieures du cuvelage; il est formé de panneaux composés de madriers jointifs placés horizontalement, revêtus à l'intérieur et à l'extérieur de larges tôles de 0^m 02 c. d'épaisseur, rivées ensemble par des rivets, K K, à tête fraisée, qui traversent le bois; ils s'assemblent à joints plats suivant l'onglet. Des pièces de fer pliées suivant l'angle du polygone et placées à plat entre les tôles de revêtement, en bas en S, où elles servent à établir un couteau, et en haut en P, fournissent un moyen d'assemblage des panneaux; des bandages, g, m, n, u, v, (ces deux derniers ne se voient que dans la fig. 5), quoique destinés à d'autres usages, servent aussi à réunir les panneaux.

A la partie supérieure du prisme et sur les équerres en fer *p*, se trouve une pièce de bois *q*, logée entre les tôles de chaque panneau, mais qui les dépasse, comme on le voit, fig. 5. Cette pièce porte deux entailles, dans lesquelles viennent se loger des lames de cuir r, destinées à s'appliquer contre le cuvelage, et à empêcher l'eau, et surtout le sable, de passer par là. En cas d'insuffisance de cette disposition, un bourrage, X, peut être exécuté entre les cercles u et v, ce dernier étant mobile et susceptible d'exercer une pression sur les étoupes ou la mousse du bourrage.

Dans l'intérieur du prisme est placé un fond ou masque D, composé de huit panneaux correspondants à ceux du prisme. Ces

panneaux, munis de fortes nervures qui servent à les assembler entre eux, portent chacun un trou d'homme Z, et laissent au centre une ouverture circulaire, sur laquelle est établie une colonne de tuyaux en tôle G, qui s'élève jusqu'à la tête des niveaux. Le masque est assujetti au prisme par les deux cercles ou bandages m, g.

Seize presses hydrauliques (deux par panneau), E, E, E..... sont fixées contre le prisme et comprises entre les bandages n, m ; en sorte que l'effort qu'elles exercent par leurs pistons F, F..., réagit sur le masque D, par l'intermédiaire du cercle *m*. Ces presses sont unies deux à deux, par des tuyaux, W, qui assurent la marche simultanée des deux presses qui occupent un même panneau.

Dans le tuyau C descend une tige en bois T, d'un fort équarrissage, qui va de la surface au fond du puits. Les parties élémentaires dont elle se compose sont assemblées par des espèces d'étriers dont le dessin se voit en G, fig. 5. Cette tige sert à guider, pendant qu'il monte ou descend, et à faire tourner, un trépan dilatable, qui agit sous le masque pour creuser l'excavation dans laquelle le prisme s'engage.

Ce trépan, représenté en projection horizontale par la fig. 6, se compose de deux manchons, M, M', qui glissent librement sur la tige T. Sur chacune de leurs faces sont articulés des bras ab, cd, a'b', c'd', rappelant la disposition des fourchettes et des baleines d'un parapluie. Au manchon inférieur M', est suspendu un vase en tôle U, cylindrique, que la tige T traverse en passant dans une tubulure qui en occupe le centre. Cette cuiller repose sur un arrêt V, dont la tige T est munie à sa partie inférieure.

Le manchon supérieur M est suspendu à deux cordes, f, f, par deux crochets e, e. A mesure que ce manchon descend ou monte, les bras, cd, du trépan s'ouvrent ou se ferment ; et, quand ils sont entièrement fermés, ils peuvent passer sans difficulté dans

la colonne C, et revenir à la surface en tirant après eux la cuiller V.

Pour faire fonctionner le trépan, on fait tourner la tige T en agissant sur la manivelle K, qui, par une transmission de mouvement très-simple, imprime un mouvement de rotation à la grande roue R, dont la tige T traverse le moyeu. Cette roue repose sur des galets N, à la manière des plates formes des chemins de fer. Pour effectuer ces manœuvres, les hommes sont placés sur le plancher P.

Ainsi qu'on le voit par les dessins, ces deux projets diffèrent essentiellement de principe.

M. Parmentier proposait d'introduire dans le puits de Saint-Waast un cylindre en tôle d'un diamètre un peu plus petit que le cercle inscrit du cuvelage, et de pousser ce cylindre dans les couches argileuses qui recouvrent le sable, puis dans le sable lui-même, et enfin dans le terrain houiller, où on l'enfoncerait de plusieurs mètres, afin que le caractère plastique de la partie supérieure de ce terrain (à Saint-Vaast) produisit une obturation complète, pour empêcher, au moins momentanément, l'eau et les sables supérieurs de trouver un passage.

Ce cylindre installé dans le puits, et les eaux à leur niveau naturel, on excaverait le terrain au moyen d'un trépan dilatable, et on retirerait les déblais à l'aide de dragues. Le tube serait alors poussé par deux presses hydrauliques, secourues au besoin par l'action d'un fort mouton. Arrivé à la profondeur voulue dans le terrain houiller, les eaux seraient épuisées, le puits approfondi par les moyens ordinaires, et un siége serait posé pour recevoir le cuvelage, qui, partant du fond, viendrait rencontrer la partie inférieure du tube, avec lequel on le joindrait définitivement.

M. Guibal, chargé par la commission d'étudier ce projet et de faire un rapport, examine les opérations principales, qui sont : *la construction et l'installation du tube, — la pression nécessaire pour l'enfoncer, et les moyens de la produire, — le forage et*

la manœuvre du trépan, — le dragage et la manœuvre des dragues, — et enfin la jonction du tube avec le terrain houiller.

Tout en admettant qu'il soit possible de construire un tube en tôle de 2m.40 de diamètre assez solide, il ne croit pas que les conditions très-variables dans lesquelles ce tube se trouvera probablement placé, tant sous le rapport de la pression latérale qu'il aura à supporter qu'au point de vue des efforts qui seront faits pour le faire pénétrer dans le sol, soient suffisamment appréciables pour être calculées. Il regarde comme très-difficile l'allongement du tube en exécutant les assemblages dans le puits même, et considère la descente de cet énorme poids comme une opération d'une grande difficulté.

M. Guibal, en examinant avec un soin tout particulier les conditions générales que présentent les sables, et particulièrement ceux qu'il s'agit de traverser à Saint-Vaast, qui ont présenté des phénomènes si remarquables pendant le cours des forages qui ont été exécutés, considère l'enfoncement du tube comme une opération pouvant faire appréhender des difficultés excessives, malgré le point d'appui que M. Parmentier espère trouver sous le bloc de maçonnerie qu'il figure dans son dessin comme ayant 4 mètres de hauteur et 1m.30d'épaisseur, empruntant encore quelque résistance par sa jonction avec le terrain qui l'encaisse. Les deux presses hydrauliques lui semblent insuffisantes pour opérer l'effort nécessaire, et l'installation d'un plus grand nombre impossible avec les manœuvres qui sont indispensables, en dehors des efforts de pression, dans l'espace déjà très-restreint que laissent les deux presses. Enfin, il croit que M. Parmentier s'abuse sur les effets produits par le mouton qu'il destine à venir en aide aux presses, et rappelle le principe admis, *que le choc perd de son action, à mesure que la masse choquée devient plus considérable.*

Le trépan, quoique bien disposé, ne semble pas à M. Guibal devoir remplir les conditions voulues pour attaquer les terrains

qu'il s'agit de traverser; il exige, pour son service, des manœuvres fréquentes, d'une grande lenteur. Quant aux dragues, que M. Parmentier dispose comme l'ancien sabot des sondeurs, mais avec l'addition d'une soupape suivant une des génératrices, il les considère comme trop petites, d'après l'espace laissé libre pour leur introduction, et partant d'un usage très-peu avantageux. En résumé, M. Guibal trouve que les moyens de forage et de dragage, imparfaitement étudiés, il est vrai, paraissent complétement insuffisants, et exigeraient, en tous cas, une étude nouvelle et complète de la part de l'auteur.

La jonction du tube avec le terrain houiller, qui offre une plasticité si remarquable et si favorable à Saint-Vaast, présente assez de probabilités, à la condition toutefois que l'on procédera avec prudence à l'épuisement des eaux : car, s'il s'ouvrait des issues, le mal pourrait être sans remède, à moins d'exagérer la longueur dont le tube devrait descendre dans le terrain houiller.

De l'ensemble de toutes ces observations, il résulte pour M. Guibal que le projet de M. Parmentier présente d'énormes difficultés d'exécution, et nécessairement des dépenses très-grandes de temps et d'argent; qu'en outre, arrivé au but, son principe, c'est-à-dire la méthode de fonçage par tubage surtout métallique, présente pour l'avenir même des chances désastreuses pour l'exploitation des mines. Au reste, bien que nous ayons employé, tout en les abrégeant, les propres expressions de M. Guibal, voici textuellement son résumé sur ce sujet :

« Enfin, je le déclare sincèrement, le projet qu'on vous propose est hérissé de chances d'accident, et probablement destiné à un insuccès complet. Voici mes raisons :

« Je passe sur tous les incidents d'un travail de ce genre, impossibles à prévoir après l'étude la plus approfondie d'un projet, et à plus forte raison quant à celui de M. Parmentier, qui est loin d'être complet. Je suppose que tout va bien, que le tube est engagé dans le terrain houiller; qu'il y ferme tout passage aux

eaux supérieures, la presque entière réussite, en un mot, pour quiconque n'y regarderait pas d'assez près, et je me reporte à la dernière opération, à l'enlèvement des eaux du puits terminé. Eh bien, à cet instant suprême tout peut encore être perdu!

» Que le tube se soit déformé, que quelque lésion ait eu lieu pendant son enfoncement, et, dès que la pression que les eaux qu'il doit retenir s'exercera, les moindres avaries auront les plus redoutables conséquences; il sera rompu, écrasé tout à coup. On aura presque atteint le but, on comptera sur le succès, et un instant suffira pour faire perdre à jamais le fruit de toutes les peines qu'on se sera données.

» Pour qu'on ne m'accuse pas d'exagération, je n'ai qu'à rappeler ce que j'ai dit des conditions instables de résistance des cylindres pressés extérieurement, et à citer les exemples que l'expérience a fournis déjà de cas semblables à celui que je suppose. Plusieurs tubes ont été écrasés à Strépy dans les premiers enfoncements; celui de Saint-Alexandre a été trouvé dégradé par la pression qu'il avait supportée; en France, un puits foré par M. Mulot dans le département du Pas-de-Calais a été perdu par l'écrasement du cylindre en tôle (1) dont on avait fait usage pour revêtir ses parois; enfin, Kind lui-même a éprouvé pareil accident à plusieurs des puits qu'il a tentés par son système (2). Or, tous ces accidents ont eu lieu au moment où l'on tirait les eaux hors du puits, et se sont produits inopinément, d'une manière instantanée.

(1) Nous avons toujours entendu dire que le tubage de M. Mulot était en bois et de l'exécution la plus soignée.

(2) Le tableau des sondages exécutés ou en cours d'exécution par la compagnie des sondages (système Kind), arrêté au 31 mars 1856, porte : Traité du 7 octobre 1853, compagnie de Saint-Vaast (Belgique), trou de sonde de 4ᵐ25, 90 mètres de profondeur, 12 mois de temps employé; et en note : ce puits est exécuté pour extraire la houille.

» C'est que les métaux dans les constructions ne résistent énergiquement que pour céder tout à coup; c'est que les tubes notamment, à peine excédés dans leur résistance transversale, se trouvent réduits à une faiblesse extrême, leur solidité n'étant qu'un artifice. C'est enfin que, rigides dans leur longueur, la moindre déviation doit les rompre.

» L'emploi des tubes métalliques excite au plus haut degré ma méfiance pour le revêtement des puits, et je suis d'autant plus porté à les proscrire de ce genre de construction, qu'ils y sont exposés à des détériorations fort rapides. J'ai vu en Angleterre des puits revêtus de fonte, dont les parois complétement oxydées au bout de quatre ou cinq ans exigeaient un revêtement entièrement neuf. Or, qu'on imagine la position d'une mine dont le puits, exécuté dans d'importantes couches de sable aquifère, viendrait à s'écrouler.

» A moins qu'on ne nie mes appréhensions, on conviendra que la réussite par le moyen des tubes mérite à peine ce nom.

» Au surplus, il me reste à exposer une dernière considération, de laquelle il résulte clairement pour moi que la réussite n'est pas probable par l'emploi des tubes. J'ai déjà dit qu'à Strépy-Bracquegnies, on avait été à bout d'efforts pour faire entrer le tube à la fin de l'opération; mais un fait peu connu, qui m'a été rapporté par M. Delaroche lui-même, et qui est concluant, c'est l'écoulement continu des sables autour du tube pendant l'enfoncement de celui-ci, le mouvement giratoire que la masse environnante effectuait. M. Delaroche l'a constaté en jetant derrière le tube des sacs de toile remplis de pierres, qui, dès le lendemain, étaient ramenés du fond par les dragues. Or, je le demande, n'est-il pas évident, puisque pareille chose se produisait, que le tube ne frottait pas contre le terrain, mais qu'au contraire celui-ci descendait plus vite que le tube lui-même, qui dès lors était entraîné par le mouvement de la masse? Et si, dans un cas semblable, la résistance à vaincre est encore si grande, que

serait-ce si le sable était en repos? Quand à arguer que le même mouvement se produira chez nous, on ne le peut : car, s'il se produisait, il en résulterait des affouillements énormes qui compromettraient toute la construction jusqu'à la surface, puisque, n'ayant pas accès, comme à Strepy, à la tête des sables, nous ne saurions combler le vide.

» J'appelle toute votre attention, Messieurs, sur ce dernier point : car tant qu'un fait accompli ne m'aura pas prouvé qu'on peut introduire, en le pressant, un tube de grande dimension et d'une longueur considérable dans les sables, je croirai la chose impossible par les raisons que je viens de donner.

« Aussi, loin que le doute que j'exprimais en 1854 ait diminué dans mon esprit, mes réflexions, mes observations, mes études, l'ont accru et rendu complet. »

Ainsi qu'on le voit, M. Guibal, après avoir étudié d'une manière si remarquable les difficultés à vaincre pour arriver au succès du percement d'une fosse au moyen de forages et de tubages à énorme diamètre, confirme en 1856 l'opinion que nous avions émise en 1853.

Cette opinion ne concerne, il est vrai, que l'opération tentée dans des terrains non résistants, tandis que nous l'étendons à tous ceux dans lesquels le mineur ne peut arriver sans difficultés non pas insurmontables, mais seulement plus coûteuses que les moyens de forage proposés. Nous avons toujours eu connaissance des travaux commencés par ce procédé, mais, jusqu'à présent, aucun résultat satisfaisant et final n'est arrivé jusqu'à nous.

M. Parmentier n'accepte pas sans réplique les critiques de M. Guibal sur le projet qu'il a conçu, et, notamment au point de vue de l'exécution matérielle, il refute quelquefois assez heureusement ses assertions. Néanmoins, comme la commission, après avoir examiné et entendu projet et discussion, déclare d'un avis unanime :

1° Qu'aucun moyen connu ou employé pour la traversée des

sables mouvants n'est applicable au puits de Bonne-Espérance de Saint-Vaast;

2° Qu'il n'y a pas lieu de conseiller, en aucune manière, le procédé proposé par M. Parmentier;

Il nous semble inutile d'analyser en détail ce qui a été dit, nous contentant de renvoyer ceux qu'un intérêt spécial attacherait à ce sujet au mémoire si complet de la commission (1), et nous passerons à l'analyse du projet de M. Guibal.

C'est après avoir examiné attentivement tous les procédés connus jusqu'alors, et notamment ceux de forages et tubages qu'il a trouvés applicables seulement à de faibles profondeurs et lorsqu'on pouvait s'aider, en fin de travail, de l'air comprimé, comme l'a fait M. Triger, l'inventeur, aux mines de Chalonnes (Maine-et-Loire), que M. Guibal imagina son appareil.

Avant de le décrire, il examine minutieusement les différents états sous lesquels se présentent les sables en général, et particulièrement ceux de Saint-Vaast. Je ne crois pas qu'il ait été jamais fait sur ce sujet un travail aussi complet, aussi clair, aussi précis.

Nous croyons cependant que sur un point M. Guibal pourrait être dans l'erreur, en attribuant trop généralement une grande densité au sable en repos, à l'état statique, surtout lorsque ce sable est siliceux et qu'il suppose au-dessus une épaisseur notable de terrain.

Il arrive souvent que les terrains supérieurs sont solides, forment ciel sans appuyer dessus, et que, même sous des argiles, des sables argileux assez compactes se soutenant très-bien, on rencontre des sables d'une telle fluidité, qu'une sonde s'y enfonce comme dans le vide, bien que le niveau de l'eau n'ait subi aucune modification. Ce qui peut être juste pour des sables placés horizontalement peut changer si ces sables ont un pendage continu ou accidentel; puis, il faut admettre que l'eau n'est pas tou-

(1) Imprimé à Mons (Belgique) par Masquiller et Lamir, 1856.

jours le véhicule qui contient le sable, qu'il peut se trouver dans des argiles plus ou moins vaseuses qui s'opposeront au tassemen intime des molécules. A Saint-Vaast, on n'a pas à redouter, à ce qu'il paraît, l'action de gaz comprimés ; mais ce phénomène est peu rare, et il se manifeste quelquefois par un soulèvement de sable bien au-dessus du niveau naturel, et même par sa projection en dehors du sondage. Nous pouvons citer des puits de Venise, où les sables étaient quelquefois projetés de 60 mètres de profondeur à 12 ou 34 mètres au-dessus du sol par le gaz hydrogène carbonné. A Lempdes, près de Brassac, le fonçage d'une avaleresse, il est vrai à niveau vide, fut interrompu plusieurs fois par le gaz acide carbonique, qui soulevait le terrain de plusieurs mètres, et enfin par une dernière explosion qui combla le puits sur plus de 20 mètres de hauteur. Dans le sondage qui se pratique sur cette fosse, on travaille à niveau plein, souvent les sables remontent de plusieurs mètres et ne cessent de monter que lorsque le terrain est purgé ou que les tubes ont coupé le foyer d'émission.

En ce qui concerne les sables de Saint-Vaast, les études de M. Guibal le portent à admettre qu'il est impossible d'en approcher sans les faire jaillir, à moins de leur opposer une colonne d'eau égale à celle qui les presse, c'est-à-dire de pratiquer le travail à niveau plein. Son appareil répond parfaitement à cette exigence.

D'un autre côté, enfoncer un tube de grand diamètre dans une grande épaisseur de sable ou d'argile étant, d'après tous les précédents, une opération facile pour les premiers mètres, mais devenant de plus en plus impossible lorsque les surfaces en contact se multiplient, quelle que soit la puissance d'action dont on dispose, M. Guibal devait, tout en pénétrant dans le terrain, chercher le moyen d'obtenir un tube qui ne présentât qu'une surface constante et limitée aux efforts que l'on peut produire pour le pous-

ser en avant. Ici nous transcrirons textuellement l'exposé si clair de la disposition adoptée :

« Mon projet est essentiellement fondé sur l'emploi d'un tube partiel, destiné à pénétrer dans le terrain, soit à la suite de l'excavation, soit, s'il se peut, en la précédant, et qui doit laisser derrière lui un revêtement définitif, immobile, dont il ne doit servir qu'à faciliter l'exécution.

« Pour comprendre ce principe dans son abstraction, il faut se figurer un cylindre de quelques mètres de hauteur seulement, introduit dans le sable (que je supposerai sec pour le moment), et que dans l'intérieur de ce cylindre s'exécute une construction, protégée d'abord contre l'action du sable environnant par le cylindre même.

« Les choses étant ainsi établies, il faut imaginer ensuite que le cylindre, pourvu de moyens d'action convenables, agit contre cette construction supposée stable, et réagit sur lui-même de manière à cheminer de haut en bas, en pénétrant dans le sable. Il est évident, dès-lors, qu'il laissera derrière lui la construction qu'il contenait, absolument comme un corps de pompe à piston plongeur abandonnerait derrière lui ce piston, si, celui-ci étant fixe, immuable, l'action développée dans la pompe pouvait en faire avancer le corps. En d'autres termes, ce qui se passe dans cette hypothèse est la réciproque de ce qui a lieu dans une presse hydraulique, dont le piston sort du cylindre par la pression qu'on développe, c'est-à-dire que le piston, représenté ici par une construction définitive, est immobile, et que c'est le cylindre qui avance.

« La conséquence la plus grande et aussi la plus importante de ce dispositif, c'est incontestablement que, le cylindre pénétrant conservant toujours la même longueur, la résistance qu'il rencontre en avançant ne pourra s'accroître que si le terrain, pour une raison quelconque, présente une plus grande difficulté à se laisser pénétrer. En effet, à quelque profondeur qu'il soit arrivé,

la surface de contact qu'il présente reste constante ; il n'y a donc de variation possible que dans l'adhérence que pourrait présenter chaque unité de surface. Quant à la construction définitive, qui naît à l'intérieur du cylindre, elle ne bouge pas, elle ne parcourt aucun chemin ; chaque partie reste à la profondeur à laquelle elle a été exécutée ; conséquemment, elle ne peut rencontrer ni faire aucune résistance. Le seul effet qu'elle éprouve, c'est, quand le cylindre l'a abandonnée en cheminant, d'être pressée par le terrain qui se resserre sur elle, et d'être soutenue par cette action, comme cela se passe dans les revêtements partiels des puits maçonnés.

« Si, au lieu de supposer que ce que je viens de dire se passe à la surface, dans le sable sec, on suppose que les choses ont lieu au fond d'un puits, dans des sables aquifères, les conditions seront considérablement changées. Il faut donc analyser les effets de ces nouvelles conditions.

« D'abord, quant à la situation de l'opération au fond d'un puits, si ce puits, ainsi que cela se présente à Saint-Waast, est muni d'un cuvelage, il sera naturel de faire en sorte que la construction à exécuter dans le cylindre supposé en soit la continuation. Ainsi, elle devra se composer de pièces de bois, comme le cuvelage lui-même, et constituer un véritable cuvelage. Dès lors le cylindre devra se transformer en un prisme dont la section intérieure soit la section extérieure de ce cuvelage. Si donc celui-ci a une dimension intérieure déterminée (elle l'est à Saint-Waast, et son diamètre inscrit est de 2m 50) ; si, de plus, la résistance à lui donner assigne aux pièces qui le composent une épaisseur déterminée, le prisme mobile *pénétrant*, comme je l'appellerai désormais, sera déterminé. Voilà donc la seule conséquence directe qu'entraîne la supposition de l'exécution du travail au fond d'un puits. Mais il en est d'autres indirectes, que je vais énumérer, quoique je me propose de ne les traiter qu'un peu plus tard. C'est d'abord l'installation de ce prisme au fond du puits,

ensuite la création de moyens propres à produire l'effort nécessaire pour son enfoncement, enfin, les dispositions à l'aide desquelles on exécutera la construction qui doit prendre naissance dans le prisme. On sent, du reste, que, pour installer l'appareil au fond du puits, il faudra y pratiquer une excavation assez vaste pour le recevoir; que les moyens de pression agiront sur le cuvelage existant, pour réagir sur le prisme dont ces moyens devront faire partie; enfin, que les pièces du cuvelage à construire de haut en bas devront être liées ou suspendues les unes aux autres, comme cela se fait dans plusieurs constructions analogues.

« Jusqu'ici, il me semble du moins, l'esprit n'aperçoit aucune difficulté sérieuse de réalisation. Deux objections peuvent seules être faites. D'abord, on peut douter que le prisme cède aux efforts qu'on fera pour l'enfoncer; ensuite, on se demande comment se soutiendra la construction qui s'exécute dans le prisme, surtout pendant l'exécution. Je vais y répondre, en supposant encore qu'on opère dans un terrain sec.

« Pour que le prisme ne s'enfonçât pas, il faudrait, de deux choses l'une, ou que la résistance qu'il éprouve excédât la puissance dont on peut disposer, ou que cette puissance ne surpassât pas la résistance à vaincre, ce qui n'est pas tout à fait la même chose, malgré l'apparence. Or, je dis que pareilles circonstances ne sont pas à craindre, par la raison que la hauteur du prisme est la cause directe de la résistance, l'un des facteurs qui la constituent, et qu'on sera toujours plus ou moins maître de la faire telle que l'on soit rassuré de ce côté. Si donc la force dont on pourra disposer est limitée; si, d'un autre côté, on sait la résistance approximative d'un prisme de hauteur donnée, rien ne sera plus aisé que d'en adopter un dont la hauteur soit en rapport avec l'effort que l'on sait pouvoir produire. S'il arrivait que, pour satisfaire aux conditions, le prisme dût avoir une longueur incompatible avec le reste des dispositions, on devrait s'attacher

à proportionner la force à la résistance, ce qui, en cas de nécessité, ne saurait être impossible. C'est pour cela que j'ai présenté la question sous ses deux faces ; et, si j'ai ajouté que, quoique réciproques, ces deux circonstances sont distinctes, c'est que l'une influe sur les moyens de produire la pression, et l'autre sur la hauteur à donner au prisme, ce qui réellement est chose très-différente. »

M. Guibal décrit ensuite les moyens qu'il emploie pour soutenir son cuvelage à mesure que, le prisme poursuivant son chemin, il devient nécessaire de le prolonger de haut en bas par le placement d'une nouvelle assise.

La réalisation de tout ce qu'il vient de dire pour des sables secs ne présentant pas d'objection, il examine ce qui se passera lorsque, comme à Saint-Vaast, les sables sont aquifères, et que, songer à épuiser les eaux, c'est songer à épuiser les sables eux-mêmes.

Or, nous avons vu précédemment que l'épuisement de l'eau, c'est-à-dire le travail à niveau vide, était rejeté par l'auteur de ce projet, comme donnant lieu à des perturbations dans les sables, perturbations qu'il veut éviter en maintenant le niveau plein. Nous voyons maintenant que, pour accomplir les pressions nécessaires pour pousser le prisme en avant, continuer le cuvelage et dégager les terrains, les hommes doivent opérer au fond du puits.

Or, voici les moyens employés pour tourner ces difficultés. La partie inférieure du prisme porte un masque composé de pièces de fonte formant huit segments, qui correspondent aux huit faces du prisme ; ces segments, solidement réunis, portent chacun un trou d'homme, fermé par un tampon. Ces trous d'homme ont pour effet d'alléger chaque pièce, et de faciliter un libre passage sous le masque pendant le montage de l'appareil et son démontage à la fin de l'opération. Ils pourraient également permettre la continuation de l'enfoncement sans l'enlèvement du masque.

Au centre du masque, une ouverture circulaire reçoit une colonne centrale destinée à laisser les eaux s'élever, et par conséquent laisser les sables dans les conditions de niveau plein.

Ce tube sert également au passage des instruments foreurs et dragueurs destinés à dégager le dessous du masque, et à permettre aux parties saillantes et coupantes du prisme de pénétrer dans le talus sous les efforts de pression que l'on exercera au moyen de seize presses hydrauliques réunies deux à deux, chaque couple exerçant son effort sous le cuvelage et sur le prisme. M. Guibal donne un détail complet de l'agencement mécanique de toutes ces pièces entre elles, de manière à donner à tout l'ensemble une rigidité et une solidité plus que suffisante pour supporter les efforts développés par les seize presses, efforts qu'il évalue à 797,580 kilog.

Le dessin des appareils foreurs et dragueurs explique clairement leur disposition. La drague placée sous l'instrument foreur dans un avant-trou, reçoit les parties désagrégées du talus formé par la rotation des lames dentées. Ces instruments, qui, à première vue, ne satisfont peut-être pas complétement aux idées que l'on se fait des terrains dans lesquels ils fonctionnent, confirment cependant par leur usage les idées de M. Guibal, que les sables dans leur état statique restent en repos et peuvent être taillés sous des formes déterminées. Pour les argiles, les lames, au lieu d'être dentées, sont tranchantes et légèrement recourbées. Si les terrains étaient éboulants, M. Guibal pense que le travail ne serait que plus facile, puisqu'on n'aurait qu'à draguer et à faire avancer le prisme.

Lorsque le prisme aura pénétré dans le sable, on pourrait craindre que le sable et l'eau ne cherchassent à se faire jour par le joint supérieur, malgré les lames de cuir superposées qui ont été disposées de manière à faire un frottement constant sur la partie extérieure du cuvelage : l'auteur du projet fait alors remarquer que rien ne serait plus facile que d'obvier à cet inconvénient, en

introduisant entre le cuvelage et le prisme des étoupes ou même de la mousse, et de les maintenir par un cercle ou des planchettes fixés aux parois du prisme, comme cela a lieu pour le bourrage des machines.

Une objection pouvait se présenter, c'était le cas où le masque refuserait d'entrer. Dans ce cas, et pour faciliter un mouvement dans le terrain, on a ménagé dans la colonne centrale des ouvertures qui serviraient à laisser abaisser le niveau et à changer l'état de compressibilité des terrains, les ameublir en un mot. Si le cas contraire se présentait, et que l'on redoutât une trop grande liquidité des sables, M. Guibal croit qu'en augmentant le niveau de l'eau dans la colonne centrale il les rendrait plus compacts.

Nous doutons que cette seconde hypothèse puisse toujours se réaliser; les sables peuvent être tellement absorbants que des quantités énormes d'eau pourraient être projetées dans la colonne centrale sans en augmenter le niveau; il faudrait charger l'eau de matières plastiques rendant son filtrage plus lent.

Nous ne suivrons pas M. Guibal dans la série des hypothèses défavorables qui peuvent se présenter, et qu'il se fait un jeu de surmonter, et nous arriverons au point où l'opération peut présenter les plus grandes difficultés, c'est-à-dire à l'enlèvement du masque et au raccordement avec le terrain houiller. Nous reproduisons textuellement M. Guibal.

« Tout ce qui précède se rapporte au creusement du puits, et, jusqu'à un certain point, au revêtement des parois, puisque le cuvelage est resté derrière le prisme au fur et à mesure que celui-ci avance; mais de là à livrer la fosse libre et susceptible d'être continuée par les moyens ordinaires, il y a loin. En effet, il reste à raccorder le cuvelage avec le terrain houiller, et cette opération a toujours été dans les circonstances analogues, la plus difficile, la plus périlleuse. Heureusement qu'à Saint-Vaast le terrain houiller décomposé se présente à l'état d'argile sur 10 à 15 mètres de hauteur, et qu'en y faisant pénétrer le prisme d'une

quantité suffisante, on peut espérer que tout passage de l'eau et des sables sera empêché. Mais cet espoir est-t-il réalisable? Voilà ce qu'il importe de chercher.

« Oui, l'on peut cômpter que, si l'on fait pénétrer le prisme dans l'argile, je ne dirai pas de plusieurs mètres, mais de quelques décimètres, ni l'eau, ni surtout les sables, ne pourront passer.

« Toutefois, il faut s'entendre sur la manière de faire pénétrer le prisme dans l'argile. Si l'on fraie son passage, le résultat sera douteux, parce que, quoique les terrains plastiques jouissent de la propriété de se resserrer, jamais ils ne s'appliqueront avec la même énergie que s'ils avaient été coupés par le prisme lui-même. Mais si celui-ci, poussé avec force, entre dans l'argile dont on se borne à le débarasser intérieurement, je suis certain que, malgré l'énorme pression à supporter, l'eau sera parfaitement retenue à moins d'un mètre de pénétration dans le terrain houiller. Cependant, il est évident que plus on pénétrera et plus on se donnera de sécurité; aussi j'ai eu soin de faire remarquer qu'ayant, à la fin du travail, tout le poids de l'eau contenue dans le puits à ma disposition, je me proposais d'en profiter pour pousser le prisme aussi bas qu'il me sera possible.

« Dès que le prisme aura pénétré dans le terrain houiller, il me sera très-aisé de savoir si l'eau, et surtout les sables, sont ou non retenus. Il suffira pour cela de faire écouler une partie de l'eau de la colonne centrale, et d'observer si le niveau s'y élève; car, s'il reste stationnaire, il est bien certain que tout passage est obstrué. Cette épreuve, qu'on pourra renouveler aussi souvent qu'on voudra, est précieuse, car le plus grand danger qu'on pourrait courir serait de démasquer le puits sans avoir la certitude que l'opération est réussie.

« En effet, quelque faible que soit d'abord la filtration, elle ne tarderait pas à s'accroître par un écoulement continuel, et peut-être le travail serait-il perdu en entier. Si, au contraire, le mas-

que restant en place, on reconnaît que l'eau pénètre, il suffira de rétablir le niveau dans la colonne centrale pour éviter tout écoulement, et provoquer l'obstruction des fissures ou passages; car on sait par expérience, notamment au couchant de Mons, avec quelle facilité cet effet se produit. Continuant, d'ailleurs, à faire pénétrer le prisme, il n'est pas admissible qu'on ne parvienne à l'engager assez avant pour que toute pénétration devienne impossible.

« Ce résultat obtenu, le travail de raccordement est très-simple. Le masque est ouvert, c'est-à-dire qu'on démasque les trous d'homme, et les ouvriers se rendent dans le fond du puits. Si l'on juge que le terrain est propice pour établir un siége, on en prépare la place immédiatement; mais s'il fallait approfondir notablement pour trouver une place convenable, le masque devrait être enlevé : cette opération, en tout cas, sera très aisée, à cause du double accès par-dessus et par-dessous.

« Le siége inférieur posé, on élèvera dessus un cuvelage destiné à aller rejoindre le cuvelage supérieur. Pour cela, on devra enlever les presses hydrauliques; mais, comme elles supportent le cuvelage, on ne pourra les retirer toutes à la fois. Voici comment on pourra opérer. Le cuvelage inférieur étant monté jusqu'au niveau qu'occupait le masque, on enlèvera les presses d'un côté (les quatorze autres restant en action), et le cuvelage sera rejoint de ce côté. La même chose sera faite successivement pour les autres côtés. Mais on comprend que la dernière pièce du dernier côté, et peut-être de plusieurs, présentera de la difficulté, puisqu'il ne sera plus possible de ménager l'espace que réclame l'introduction des clefs par bout, le prisme y mettant obstacle.

« Le moyen auquel je me propose de recourir pour lever cette difficulté est bien simple : il consiste à tenir ces dernières pièces plus courtes d'une dizaine de centimètres, ce qui permettra de les introduire de face; et, quand elles seront posées, on placera

verticalement à chaque extrémité une pièce de cinq centimètres d'épaisseur, qui remplira le vide. Je ne vois aucune raison pour que cette disposition ne présente pas la solidité du cuvelage ordinaire ; mais, en supposant qu'elle laissât quelque chose à désirer, on remarquera qu'on se trouve dans le prisme, et que la présence de celui-ci contribue puissamment à consolider la partie du cuvelage qu'il entoure.

« Dès que le cuvelage reposera sur des siéges inférieurs, tout danger aura cessé, quoique, à tout prendre, le travail ne soit pas entièrement terminé, puisqu'il sera encore nécessaire de prolonger ce cuvelage jusqu'au terrain houiller naturel, que je suppose un peu plus bas. Par ce motif, je crois qu'on devra poser les siéges sous le prisme le plus tôt possible, dût-on en mettre d'autres en plus grand nombre par-dessous, la multiplication des siéges étant, à mes yeux, l'élément principal de la solidité du cuvelage.

« Si tout se passait comme je le prévois, il est évident que la réussite de l'opération serait assurée. Mais peut-on admettre qu'il en soit ainsi? Je ne le crois pas, et je suis le premier à reconnaitre que très-probablement il se présentera des incidents, et qu'il est nécessaire d'examiner ceux qu'on doit prévoir. »

Ainsi qu'on le voit, si bien étudié qu'il soit, M. Guibal, avec une modestie peu commune, ne dissimule aucune des chances critiques qui peuvent assiéger son projet.

L'opinion de la commission, d'un avis unanime, est :

« Que le projet de M. Guibal lui a paru parfaitement étudié dans son ensemble et dans ses détails, et que son procédé est fondé sur la connaissance des propriétés des sables mouvants et sur une application savante des lois physiques et mécaniques ;

« Que ce système présente, en conséquence, assez de chances de réussite pour qu'on puisse en tenter l'emploi. »

Pendant un voyage que j'ai fait en Belgique au mois de juillet

dernier, j'ai eu le bonheur de rencontrer M. Guibal, qui m'a confirmé ce que j'avais déjà appris d'ingénieurs de la localité.

L'avaleresse de Saint-Vaast avait reçu l'appareil, et il fonctionnait bien ; il était alors dans les sables à 85 mètres de profondeur; les argiles avaient été traversées très-facilement à l'aide du trépan dilatable qui a parfaitement réussi. Dans le commencement on ramenait l'argile attachée aux branches de l'instrument, et il en rapportait environ 3 à 4 hectolitres. Plus tard, on reconnut que, l'argile délayée n'ayant aucun inconvénient pour le travail, on pouvait prolonger l'action du trépan et le remonter moins souvent; cela activa de beaucoup l'approfondissement, et on parvint à faire par jour de 15 à 20 centimètres de travail utile. Il faut dire de travail utile, parce que dans le principe on a été souvent entravé par de fréquents dérangements à la conduite des pompes alimentaires des presses hydrauliques, à la transmission du mouvement qui faisait tourner la tige du trépan, etc.

Lorsque l'on eut pénétré de 6 mètres environ dans les argiles, on s'aperçut que l'une des pièces du masque était cassée. Cette fissure fut attribuée par M. Guibal au retrait de la fonte. Il en fit faire la réparation en exécutant un serrement en bois à la manière de ceux qui s'exécutent dans les mines; mais on ne tarda pas à s'apercevoir que cette opération n'avait pas complétement réussi. Quoiqu'on eût atteint alors la couche de sable, M. Guibal résolut de tenter un nouveau serrement; mais il venait tant d'eau et tant de sable par la cassure, que la réparation était impossible. En effet, pour l'exécution, il fallait assécher le puits, et, pour l'assécher, il fallait que la réparation fût faite. On sortit de ce cercle vicieux en remplissant d'étoupes, provenant du défilochage de vieilles cordes, toute la capacité qui se trouvait sous le masque. Ce travail fut très-long et très-pénible, mais il réussit enfin, et à sa suite on fit un excellent serrement, qui a parfaitement résisté jusqu'à ce jour (1).

(1) Si cette opération n'avait pas réussi, M. Guibal avait imaginé un

Une fois en marche dans la couche de sable, le travail est devenu d'une régularité et d'une facilité remarquables ; pendant plus de trois mois on a fait régulièrement de 1 mètre à 1m.20 de fosse *finie* par semaine. Malheureusement, au commencement de décembre, les tuyaux qui alimentaient les presses s'étant obstrués, plusieurs couples de celles-ci n'ont pas fonctionné pendant une descente ; et quand on a voulu vider le puits pour aller poser le cuvelage, la pompe, qui n'a que 0m.20 de diamètre, fut impuissante. Voici ce qui s'est produit : les pans du cuvelage dont les presses n'avaient pas agi se sont desserrés, et laissent venir beaucoup d'eau par leurs joints.

Les accidents déjà réparés par l'auteur du système ne permettent pas de douter que, quelle que soit la gravité de celui-ci, il ne parvienne à en triompher. Ces échecs successifs toujours surmontés démontrent que l'appareil, par son ingénieuse disposition, et surtout sous la savante direction qui le fait agir, offre des ressources immenses et dès lors une supériorité incontestable. Voici, au reste, le projet déjà adopté pour porter remède au mal actuel. On a cherché à faire remonter l'appareil, pour qu'il vînt s'appuyer sous tout le pourtour du cuvelage ; malheureusement les presses sont munies de soupapes de retenue, utiles dans toute autre circonstance, mais nuisibles dans celles-ci. Pour suppléer à cet inconvénient et presser le masque de bas en haut, le puits étant plein d'eau, on a fait élever la colonne centrale de 14 mètres, et on la maintient pleine d'eau. Sous cette action l'appareil remonte, mais lentement, puisque l'eau des presses n'a d'issue que par les fuites des soupapes ou des cuirs. Du moment où il y a déjà mouvement, quel que faible qu'il soit, on est donc en droit

un bouclier en caoutchouc disposé à peu près comme un ballon annulaire qu'il eût fait pénétrer par sa colonne centrale jusque sous le masque, là il l'eût gonflé au moyen de l'air comprimé ou de l'eau de manière à ce qu'il se développât, puis, qu'en se dégonflant, poussé sur la partie inférieure de la fissure, il vînt la masquer et faciliter l'opération du picotage.

de supposer qu'il se continuera, et que sous peu de temps ce nouvel obstacle aura disparu. Il paraît que, jusqu'à présent, la dépense du puits de Saint-Vaast est notablement inférieure à celle d'un passage à niveau dans les terrains résistants.

En terminant, je dois, comme sondeur, signaler un perfectionnement apporté par M. Guibal aux soupapes dont nous nous servons pour extraire les sables de nos forages. Jusqu'ici nous avons toujours placé les clapets, ou le siége des boulets, à quelques centimètres au-dessus de la base de l'instrument. Il paraît qu'il suffit de remonter clapet, ou soupape, de $0^{m}.50$ environ, dans le tube, pour rendre l'instrument beaucoup plus sûr et puissant. La partie inférieure, sous le mouvement de va et vient qu'on imprime aux soupapes, fait pompe, soulève le sable circonscrit et appelle celui qui l'entoure. Nous construirons sous peu des instruments de ce système, et nous leur donnerons le nom de soupape Guibal, considérant ce perfectionnement comme un service rendu à l'art des sondages.

MÉMOIRE N° V.

Sur le soudage des cercles bandages de roues pour Locomotives, Voitures et Wagons.

PAR M. PINAT.

I. — *Difficultés particulières du soudage des bandages.*

La soudure qui réunit les deux bouts des barres cintrées pour bandages a toujours attiré l'attention et les craintes. C'est qu'en effet le soudage du fer à la forge à main, si commode dans les conditions habituelles, se complique d'une façon très-gênante dans le cas particulier des bandages. En général, dans les diverses pièces dont la manipulation est faite à la forge à main, un chauffage convenable suivi d'un forgeage efficace, ces deux conditions indispensables d'une bonne prise, s'obtiennent avec facilité par chaude portée ordinaire. Le forgeron a toujours le moyen de présenter les pièces au feu de façon à repartir la chaude selon les exigences de la section qu'il veut souder, et il peut à loisir préparer les deux amorces, en tenant compte de la forme d'ensemble de la pièce, de manière à se ménager un forgeage d'un effet direct sur le plan de joint. Ces garanties de succès assez simples que l'opération comporte, soit au feu, soit sur l'enclume, ne s'obtiennent plus que par artifice dans le soudage des bandages. Il ne s'agit plus de deux amorces qu'on peut traiter séparément; elles sont fixes l'une par rapport à l'autre, elles sont liées, et il n'y a pour ainsi dire pas deux manières de les présenter au feu ; de plus leur jonction doit fermer un cercle, forme de pièce qui se prête fort peu à un forgeage normal au joint.

Ces graves difficultés ne sont encore résolues aujourd'hui que par des expédients qui peuvent contenter, faute de mieux, mais qui sont loin de réaliser toute la sécurité désirable en pareille matière.

Expédients mis en œuvre par les procédés ordinaires pour résoudre ces difficultés. — Les procédés aujourd'hui en usage ont généralement pour principe de substituer au plan de joint normal à la circonférence, qui se présente comme le plus naturel, mais que le marteau à main ne peut forger, des joints obliques relativement au plan du cercle, et qu'un forgeage plus ou moins direct peut atteindre. Les deux amorces, inversement inclinées sur le plan normal, laissent alors entre elles un certain vide prismatique à base triangulaire; ce vide, plus facile à chauffer à la forge que deux amorces jointives, reçoit par chaude portée une mise-coin de même forme. On a donc deux joints au lieu d'un; ils sont sur les faces latérales du coin et se trouvent comprimés par l'intermédiaire de celui-ci au moment du forgeage, qui consiste à chasser le coin entre les amorces, comme pour les écarter.

Deux modes de soudage, selon qu'on emploie deux coins ou un coin ou deux mises-liens. — On emploie soit une, soit deux mises-coins (pl. 9, fig. 2 et 6); de là deux méthodes de soudage, qui ont chacune leurs avantages et leurs inconvénients.

Comparaison des deux systèmes. — Dans le soudage à deux coins, les deux amorces sont découpées de manière que le métal forme deux angles saillants légèrement obtus, qui se touchent par la pointe au milieu à peu près de la largeur du bandage. Les deux coins symétriques se touchent aussi par le sommet (fig. 2); chacun exige une chaude portée. Le façonnage de l'amorce se fait en partie par refoulement pour donner du fer. Les coins ont eux-mêmes un excès de hauteur qu'on repousse latéralement sur les deux faces planes en *a*, *a*, pendant le forgeage. Les bavures sont soudées par les chaudes suivantes.

Dans le soudage à un seul coin, l'amorce s'obtient par une seule coupe oblique de chacun des bouts, et présente un vide prismatique dont la section triangulaire a pour hauteur toute la largeur du profil (fig. 1). Une mise plate, dite mise-lien, appliquée ensuite sur le plat du chanfrein (fig. 3), et une semblable sur le plat du boudin, complètent le soudage.

L'un et l'autre système prennent à peu près le même temps. Le soudage proprement dit est plus expéditif avec les deux coins, qui ne demandent que deux chaudes portées au lieu de trois, mais l'amorçage est laborieux; tandis que dans l'autre système il est effectué d'avance par le trait de scie qui affranchit les barres avant le cintrage et qu'on dirige à cette intention. Du reste la question de temps, qui entraine celle d'économie, est un peu secondaire ici; il faut en tenir compte forcément lorsqu'il s'agit de pratiquer sur une seule pièce les nombreuses soudures qu'exige, par exemple, la construction des roues en fer forgé; mais, dans les bandages, tout s'amoindrit, pour le constructeur lui-même, devant la nécessité de réunir d'abord les meilleures conditions de solidité.

L'ouverture d'angle des amorces est le point saillant du système à deux coins. — A ce point de vue important, le principal avantage du mode de soudage à deux coins est la grande ouverture d'angle de ceux-ci, que leur faible hauteur permet de tenir très-camards sans leur donner une trop grande dimension à la base. Le marteau, tombant sur la tête du coin, agit par suite plus efficacement pour la prise, car, en considérant l'effet du coup reporté au plan de joint, il est clair que sa composante normale, seule utile à la prise, s'accroît avec l'inclinaison du joint, aux dépens de la composante de glissement. Cette circonstance est d'un grand prix; il faut lui attribuer sans doute l'adoption très-générale aujourd'hui du mode de soudage à deux coins symétriques.

Inconvénient correspondant. — Mais, à côté de ces avantages incontestables, se présente l'inconvénient grave de faire aboutir

la réunion de quatre plans de joints précisément au milieu de la surface de roulement du bandage où se développent les plus grandes fatigues du service. Ce point critique, si malheureusement placé, est souvent le siége de défauts très-suspects, dont le moindre est un manque de fer. Les angles saillants, formés par le métal du bandage amorcé, tendent, en effet, à se ronger beaucoup au feu lors de la première chaude portée. Aussi, est-ce ce danger qui limite principalement l'inclinaison des plans de joints : plus l'angle des coins est obtus, plus sont aigus ceux des amorces en *b* (fig. 2) et plus ils offrent au feu des saillies altérables.

Comment on peut dépasser cette limite. — Contre cette difficulté, on a la ressource de ne préparer l'amorce que d'un côté à la fois (fig. 4); l'autre partie reste jointive, et ne se découpe qu'après la pose du premier coin. De cette façon, quel que soit l'angle d'ouverture des coins, on ne présente jamais au feu, en *b, b*, que des angles obtus. Le tour de main est très-praticable, mais il a des conséquences assez sérieuses au point de vue du chauffage. Le fer n'étant pas évidé au-dessus de la chaude, celle-ci n'est plus aussi facilement accessible au pique-feu, et, faute d'une *cheminée* supérieure, elle n'a plus la direction ascendante, qui est excellente pour atteindre à fond l'amorce en travail. Enfin le feu, couvert dans ce cas par la pièce, devient difficile à serrer de près par côtés, et la chaude s'étend en largeur; condition fâcheuse, qui expose à des manques de fer au moins, et peut-être à l'altération du métal occupant les environs de la soudure et qui doit rester étranger au forgeage. Il y a lieu de tenir grandement compte des effets de ce genre lorsqu'ils tendent à se produire, comme c'est le cas, sur le milieu même du profil au point de plus grande fatigue de la pièce.

Système particulier du soudage qui en résulte. — Sauf ces inconvénients, que l'habileté du forgeron peut seule atténuer, cette modification du système de soudage à deux coins est intéressante; elle permet d'employer des coins à angles extrêmement

ouverts; elle a même donné lieu à une disposition de soudure particulière, qui consiste à remplacer les coins par des mises plates, pénétrant jusqu'au milieu du profil, et dont l'angle n'est plus représenté que par une certaine convexité de la surface. Ce sont alors de vrais liens, d'une certaine étendue, et d'autant meilleurs qu'ils offrent un forgeage à peu près normal aux joints, dont le développement est d'ailleurs considérable. Les fig. 5 et 6 montrent l'aspect que présente une soudure de cette espèce, qui n'est plus en quelque sorte qu'un misage ordinaire par chaudes portées :

Avantages et inconvénients de ce système. — Comme sécurité de soudure, ce système est tout-à-fait séduisant; malheureusement, ici plus que jamais, il faut signaler d'abord l'accumulation des joints au milieu du profil, ensuite la dangereuse condition où sont placées les deux régions *acd, a'c'd'* (fig. 6), pendant leurs séjours répétés au feu; considération singulièrement grave dans cette soudure, en raison de la grande étendue de l'arc qu'elle intéresse : un assez long segment du bandage peut, de la sorte, devenir un point très-faible au service; ce serait là une triste solution du problème de la soudure.

Je parle de séjours répétés au feu; c'est qu'en effet le vide considérable que laissent les amorces (fig. 5) ne peut se combler par des mises simples : il faudrait les faire trop épaisses, et la prise n'en serait pas assez sûre sous le marteau à main. Il faut en superposer deux de chaque côté ; de là, *quatre* chaudes portées. Qu'on observe en passant combien est longue l'exécution de cette soudure : indépendamment d'un amorçage compliqué et des quatre chaudes principales, il y a encore une mise au profil très-ouvragée, la pose brute des quatre mises laissant la pièce fort malpropre, comme on peut s'y attendre.

Infériorité du système à un seul coin, quant à l'ouverture d'angle des amorces.— J'arrive au second système de soudure,

qui consiste dans l'emploi d'une seule mise-coin, renforcée de deux mises-liens (fig. 3).

Son caractère dominant est l'acuité à laquelle il est assujetti pour le coin, dont la longueur assez grande ne permet qu'une très-faible ouverture d'angle, sans quoi la mise-coin prendrait une largeur de base et un volume qui se refuseraient à un forgeage suffisant, et, ce qui est pire, à la pénétration de la chaude bien à cœur (1).

On est donc forcé de tenir le coin assez aigu; et il devient, à cause de cette forme, moins *liant*, comme disent les ouvriers. Il y a des atténuations à cette infériorité de méthode, tout d'abord manifeste.

Atténuation de cette mauvaise condition. — En premier lieu, on à la faculté, en bridant énergiquement le cercle selon le diamètre perpendiculaire au joint, d'exercer au moment de la chaude portée une pression latérale presque normale aux deux plans de contact, et qui vient efficacement en aide pour la prise au martelage extérieur sur la tête du coin (2).

Usage du tendeur diamétral, et de la barre d'écartage. — Cet artifice devient d'un très-puissant effet lorsqu'on s'aide de la force élastique du cercle lui-même. Il suffit pour cela de bander la pièce à l'avance et à froid, par l'introduction forcée d'une barre de fer à l'intérieur, selon le diamètre perpendiculaire au plan de soudure. Cette barre agissant à la manière d'un étançon, comme pour ovaliser le cercle, éloigne d'une certaine quantité les deux amorces. Leur rapprochement a lieu par la réaction du cercle, et comprime le coin, quand, au moment de la pose de celui-ci, on

(1) Il faut, en effet, que le coin soit amolli à fond jusqu'à se pétrir sous le marteau; ce n'est qu'ainsi qu'il arrive à épouser l'amorce dans toute sa surface, et peut faire bonne prise.

(2) On est loin d'avoir la même ressource dans le soudage à deux coins symétriques, parce que chaque coin est rejeté tout d'un côté de la section du bandage, ce qui, joint à la plus grande inclinaison des plans de joint, change les conditions de la pression diamétrale.

fait tomber l'étançon d'un coup de masse. La bride agit ensuite dans le même sens ; c'est une autre barre, placée à l'avance parallèlement à la première, et qui se termine par deux forts crochets saisissant le boudin du cercle ; au milieu de cette barre est un gros tendeur à vis, qui, en raccourcissant l'ensemble, produit la compression diamétrale.

Rôles et importance des mises-liens. — En second lieu, il faut remarquer que le coin n'est pas le seul trait d'union entre les deux amorces. Une forte mise plate, formant lien, est ajoutée dessus comme dessous. Ces liens, posés tout-à-fait à plat, sont dans les conditions les plus commodes de la chaude portée ordinaire. On peut donc les considérer comme un auxiliaire aussi assuré que possible. Les chaudes de pose de ces mises plates n'ont pas, d'ailleurs, les inconvénients signalés plus haut dans les chaudes d'aussi grande étendue, parce qu'elles ne s'appliquent que vers les extrémités du profil, sur les plats, et n'intéressent pas les points de plus grande fatigue au service.

La présence des mises plates n'est pas seulement une garantie pour suppléer au mauvais soudage du coin ; elle peut être utilisée pour contribuer à la prise solide du coin lui-même et l'assurer davantage. Il suffit, pour cela, de réduire le coin en longueur, de manière qu'une fois posé, il n'occupe que les deux tiers environ du profil (fig. 7) (1).

La mise-coin placée, on répète une chaude franchement soudante sur la tête du coin, qu'on forge ensuite à la panne dans la direction des flèches. Les parties de plans de joint *ba* sont ainsi reprises par corroyage après coup. De la même chaude, on dégorge la place de la première mise plate. On opère de même sur la pointe du coin quand il s'agit de poser le second lien, et ce sont alors les parties *cd* qu'on forge. La longueur du coin a

(1) On comprend combien en même temps cette réduction du coin donne de facilités pour agrandir l'angle des amorces dès le principe, sans arriver à un volume de coin inadmissible.

été diminuée d'autant, et n'a plus dans l'ensemble de la soudure que le rôle dont la fig. 8 donne l'idée. Elle occupe la moitié environ du profil, et, sur cet espace, les parties hachées ont une prise à peu près garantie par le fait de la répétition des chaudes.

Avantages particuliers du système à un seul coin. — Le système de soudage à un seul coin a l'avantage de ménager à la forge, autant qu'on peut le désirer, la partie fatiguée du profil, qui ne subit qu'une chaude soudante, tout en hauteur, assez facile à donner avec promptitude et à feu serré. Les soudures sont, d'ailleurs, d'une propreté particulière, et arrivent facilement, sur l'enclume même, à un profil correct.

Résumé de la comparaison des deux systèmes. — De ce rapide examen des deux modes de soudage il faut conclure que, s'il s'agissait simplement d'éviter l'arrachement ou la rupture des soudures, le système à mises symétriques serait probablement le meilleur, surtout en substituant aux coins deux couples de mises bombées comme il a été dit plus haut; mais ce système compromet évidemment plus ou moins la résistance à l'écrasement pour la région qui contient et avoisine les plans de joint.

Le soudage à un seul coin semble, à ce dernier point de vue, aussi satisfaisant que possible. Est-il réellement inférieur quant à la sécurité de la soudure elle-même? La question me semble au moins indécise, si le travail est entouré des précautions indiquées plus haut.

Autres systèmes de soudage dont l'application n'a pas réussi. — C'est a peine s'il y a lieu de parler des quelques tentatives qui ont été faites jusqu'à présent pour souder les bandages sans interposition de mises. Elles paraissent avoir échoué complétement, soit qu'on ait cherché à rapprocher des amorces normales au plan du cercle, soit qu'on ait eu recours à des amorces en sifflet (fig. 9). Dans le premier cas, on s'est résigné à provoquer la prise par simple compression, le marteau n'ayant plus qu'un rôle de contre-forgeage. On devait s'attendre à n'obtenir ainsi

qu'un grossier collage : c'est ce qui n'a pas manqué. Mais on ne paraît pas s'être préoccupé de suppléer à l'insuffisance de forgeage par un mode de chauffage plus parfait, qui pût amener les deux amorces à la chaleur soudante bien répartie et bien égale, auquel cas la prise ne demande qu'à se faire. C'eût été, à mon avis, la seule solution du difficile problème qu'on abordait.

Les amorces en sifflet sembleraient, au premier abord, promettre un meilleur résultat, car elles affectent l'apparence de la chaude portée ordinaire; mais elles s'en éloignent en ce point essentiel que les deux parties à réunir n'obéissent pas librement aux impressions du forgeage. La rigidité du cercle contrarie la prise en réagissant, comme le ferait l'élasticité d'une spire isolée d'un ressort à boudin, de manière à s'opposer au rapprochement progressif des deux amorces sous le coup du marteau. Cette réaction tend, au contraire, à décoller sans cesse la soudure avec une énergie considérable, eu égard à la section de la pièce. L'effet est d'autant plus sensible, que, dans le but de ne pas manquer de fer, il faut donner à l'une des deux amorces une certaine avance sur l'autre, avance qui ne s'obtient que moyennant une torsion héliçoïdale donnée en principe à la pièce (fig. 9). Le cercle réagit donc, par le seul fait de son dégauchissement pendant le soudage, de toute la tension ou bande équivalente au gauche initial.

Le système était d'ailleurs vicieux : d'abord en ce que, indépendamment de la difficulté de préparation de semblables amorces, leur chauffage bien à cœur et uniforme n'est guère à espérer en raison de leur recouvrement mutuel et de la façon dont elles se présentent au feu; de plus, il aurait fallu des moyens de forgeage spéciaux, tels que le pilon à vapeur, le marteau à main étant de bien peu d'effet sur une semblable soudure. En outre, le travail de forge intéresse encore ici une trop grande fraction de la circonférence; c'est toujours compromettre le bon service du bandage. Enfin, une soudure défectueuse n'est pas à refaire;

elle entraine le rebut du cercle, pour peu qu'il soit de petit diamètre ; c'est une assez grave sujétion pour les constructeurs.

Je dois faire mention d'une tentative de soudage qui a été faite en 1848 ou 1849 aux ateliers du chemin de fer du Nord, et qui, si elle n'a pas eu de suite, avait du moins le mérite d'une meilleure entente de la question.

La soudure était préparée comme l'indique la fig. 10, et chauffée avec sa mise, double coin, placée d'avance dans les amorces. Celles-ci étaient maintenues légèrement ouvertes par l'action d'une barre d'écartement diamétrale.

Le chauffage se faisait au moyen d'un four à coke de forme conique (fig. 11).

Une large grille recevait par-dessous, en A, le vent d'un ventilateur. La soudure était placée un peu au-dessus du coke, et dans la partie supérieure du four, rétrécie de manière à réduire, autant que possible, le segment du bandage soumis à la chaude.

Il est regrettable que cet appareil ait trop peu fonctionné pour fournir des renseignements pratiques suffisamment précis. La chaude suante s'obtenait assez vite dans les quelques soudures essayées ainsi ; mais il est douteux qu'on puisse espérer de cette façon la chaude soudante bien atteinte à cœur, sans laquelle une bonne prise ne saurait être assurée.

En effet, il fallait absolument éloigner la pièce du combustible, sans quoi sa destruction était inévitable ; on était donc réduit à chauffer dans la flamme fournie par un brasier de coke, et c'est le mode d'action le plus impropre à la nature de ce combustible. Autant est ardent et rapide le chauffage par le coke, soit au contact, comme pour la fusion de l'acier, où les creusets plongent dans le combustible ; soit sous la forme du dard de flamme que détermine le jet rétréci d'une tuyère, comme dans la forge à main, où l'oxidation de tous les éléments combustibles est à peu près définitive ; autant est faible dans son action calorifique la flamme que dégage une masse de coke en ignition sur une cer-

taine épaisseur, flamme forcément carburée, même pour une couche de combustible assez mince, et qui retient latente la majeure partie de la puissance calorifique dépensée.

Cette nature de flamme était, je crois, le principal écueil de l'appareil de soudage du chemin du Nord. D'ailleurs, et en raison même de la simplicité de son principe, il n'assurait pas suffisamment l'égale répartition de la chaude dans toute l'étendue des plans de joint.

Sans même s'arrêter à cette dernière considération si importante, et mettant à part l'énorme consommation de cet appareil, on voit qu'il faut se demander s'il eût suffi pour amener la chaude piquante qu'exige une soudure de bandage.

Je pense qu'on y serait arrivé en insufflant la flamme elle-même, aux environs de la soudure, par des jets de vent chaud dirigés comme des dards de chalumeau, de façon à converger vers la chaude, et à l'envelopper dans toutes ses parties; mais alors quel danger pour le fer!

A part ces incertitudes et le peu de succès des moyens mis en œuvre, les tentatives faites au Nord s'attaquaient franchement aux difficultés réelles de soudage des bandages : c'était un premier pas dans la bonne voie, et on retrouvera les mêmes idées premières, avec des moyens plus réalisables et plus efficaces, dans l'ensemble du système de soudure d'Allevard, que je décrirai plus loin.

II. — *Historique du soudage des bandages en acier à l'usine d'Allevard.*

J'ai cherché, dans tout ce qui précède, à donner une idée des divers procédés de soudage des cercles auxquels s'arrêtent aujourd'hui les praticiens. Les choses étaient déjà à peu près dans cet état, lorsqu'en 1853 l'usine d'Allevard entreprit la fabrication des bandages en acier.

C'est par le corroyage des aciers naturels provenant de ses propres minerais carbonatés spathiques que cet établissement avait à préparer ses bandages. En principe, le système de fabrication sans soudure a été écarté, bien que l'usine d'Allevard fût alors en jouissance des brevets d'invention selon lesquels se pratique en France ce mode de fabrication (1). On n'a pas reconnu, de ce côté, assez de garantie d'un bon corroyage, dont la nécessité est si impérieusement démontrée et qu'on se proposait d'assurer avant tout. On s'est donc décidé, dès le début, à souder les cercles, et on s'est trouvé, par conséquent, en face des difficultés de cette opération, augmentées encore par la présence de l'acier, complication extrême, bien que les aciers de l'Isère soient soudables entre tous les aciers, et de tout temps estimés comme tels par les maréchaux les moins experts en leur art.

Attaché dès cette époque à l'usine d'Allevard, j'en ai étudié tous les essais, et ce qui va suivre n'est que le résultat de mes observations pendant ces intéressants travaux.

Adoption des mises en fer doux. — La nature des mises a une telle influence, qu'il en faut parler en premier lieu. Les mises en fer doux ont été bien vite reconnues les meilleures pour les bandages en acier. Ce n'est qu'en fer doux qu'elles peuvent subir couramment et sans danger la chaude intense, indispensable à leur ramollissement bien à cœur. Il faut, avant tout, pour une bonne prise, que les mises soient *pourries* au feu; et il est bon, par suite, non-seulement d'exclure l'acier, dont le plus solide à la forge ne supporterait pas un pareil chauffage sans de fréquents accidents, mais encore, de s'en tenir exclusivement à un fer au bois, affiné au dernier degré et des plus inaltérables au feu.

Adoption du mode de soudage à un seul coin. — Mais on intro-

(1) On sait qu'il consiste à faire des rondelles en enroulant sur champ, en spires serrées, une longue barre plate, et à forger ensuite ces rondelles, qui sont déjà des cercles fermés.

En 1853, une usine importante, montée pour cette fabrication, fonctionnait en société avec la compagnie d'Allevard, dont elle employait les fontes.

duisait ainsi dans le courant du bandage une certaine partie faible comme dureté, dont l'étendue devait par conséquent être réduite au point de rester insignifiante. De là un motif suffisant pour adopter le mode de soudage à un seul coin. Ce choix était imposé d'ailleurs par les dangers que présente le système à deux coins symétriques pour les parties du cercle qui avoisinent la soudure. On comprend mon insistance sur ce point, et combien il faut compter avec de pareils inconvénients lorsqu'on manie de l'acier, bien autrement sensible que le fer à toutes les altérations à chaud.

Le soudage s'est donc fait à Allevard, presqu'en commençant la fabrication, au moyen d'un seul coin en fer doux, affiné au bois et provenant des mêmes minerais spathiques que l'acier formant le bandage. Des liens faisaient le complément de la soudure, comme il a été indiqué précédemment.

Emploi du tendeur.— L'opération a été entourée des précautions particulières que l'expérience indiqua peu à peu. De ce nombre est l'emploi du tendeur diamétral à vis dont j'ai parlé déjà, et qui sert à comprimer les plans de joint au moment de la première chaude portée. Ce tendeur se maintient jusqu'après la pose de la première mise-lien. Il a alors pour effet de brider simplement le cercle et d'amortir les vibrations que lui impriment les coups de marteau (1). Mais c'est principalement dans le chauffage des mises que la méthode ordinaire a été avantageusement modifiée.

Modification importante dans le chauffage des mises ; emploi du four à vent. — A la forge à main on a substitué, pour ce chauffage, de petits fours à vent d'une forme particulière, en usage dans le travail des aciers du commerce et dont je parlerai plus loin avec plus de détail. Dans ce four, les mises sont portées à la chaleur la plus élevée sans aucun contact avec le com-

(1) Les vibrations d'un cercle en acier sur l'enclume deviennent réellement gênantes pour la prise, lorsqu'il s'agit surtout des grands diamètres pour locomotives

bustible; on peut constamment suivre des yeux toute leur surface et les retourner de toute façon sans nuire au chauffage, comme il arriverait dans une forge à main où un mouvement maladroit suffit pour dégrader le feu; la chaude est d'ailleurs aussi rapide, mais incomparablement plus grasse, plus égale et plus pénétrante; enfin dans les derniers moments, alors qu'il s'agit d'arriver au point de soudage simultanément pour le cercle et pour la mise, on a le grand avantage de pouvoir sans danger maintenir quelques instants la mise à sa chaleur extrême; et attendre ainsi que la chaude des amorces ait convenablement abouti. Cette faculté n'existe pas dans un feu de forge, à cause du contact avec le combustible; et la simultanéité parfaite des deux chaudes, conduites par deux forgerons différents, reste nécessaire. On conçoit combien il était précieux d'écarter cette difficulté dans le traitement de l'acier.

Étude et adoption à Allevard d'un mode de soudage nouveau, en dehors de tout ce qui s'est fait jusqu'à présent. — Les quelques milliers de bandages en acier pour roues de locomotives et tenders qui sont sortis d'Allevard jusqu'au commencement de 1858 ont été soudés comme je viens de l'indiquer. Depuis lors, cette usine vient d'aborder un mode de soudage tout à fait en dehors des méthodes usitées. La tentative touchait trop à l'inconnu pour être sage dès les débuts d'une fabrication déjà assez pleine de nouveautés en elle-même; aussi n'est-ce qu'après deux années de production régulière, et après avoir successivement eu à vaincre les autres difficultés de l'application de l'acier à la fabrication des bandages, que l'établissement d'Allevard, poussé d'ailleurs dans cette voie par quelques ruptures de soudures signalées sur ses bandages, a repris radicalement la question du soudage des cercles, et est arrivé au procédé particulier que je vais maintenant exposer, et qu'il pratique aujourd'hui exclusivement dans ses ateliers.

III. — *Nouveau système de soudage employé à Allevard.*

J'ai dit que les difficultés spéciales du soudage des cercles bandages se résument en ce que ce genre de pièces semble se refuser à un bon chauffage et à un forgeage normal au joint, ces deux conditions constitutives, pour ainsi dire, du soudage par chaude portée ordinaire. Le système nouveau aborde de front ces deux genres de difficultés. Au lieu de les éluder plus ou moins en obliquant les plans de joint, il laisse à ceux-ci leur position naturelle, qui est selon un plan normal au cercle et diamétral, et il a pour objet principalement de réaliser sur les deux amorces simplement coupées d'équerre un chauffage *restreint en étendue, énergique, égal et sûr.* Quant au forgeage, le procédé met également en jeu un mode inusité; c'est un pilonnage du cercle lui-même selon le diamètre perpendiculaire aux plans de joint.

Appareil particulier employé pour le chauffage des amorces. — Les conditions de chauffage qui viennent d'être énoncées, et qui semblent l'idéal du métier, ont été obtenues en très-peu de temps par l'appropriation d'un appareil aussi ancien que peu connu, et qui se trouve être, ou à peu près, la réalisation industrielle du mode de chauffage intense et concentré du chalumeau. Je veux parler des petits fours à vents, employés de tout temps, on peut le dire, par les ouvriers corroyeurs d'acier.

Son principe. — Un talus de houille, incliné environ à 45 degrés, sur lequel frappe horizontalement le vent d'une tuyère, le tout dans une enceinte réfractaire très-resserrée, disposée de manière à reverbérer les gaz produits par la combustion, et à leur faire entourer la pièce à chauffer, qu'on soutient au-dessus du vent et du charbon, telle est la disposition éminemment simple de ces fours, les seuls avec lesquels on travaille l'acier de pe-

tites dimensions. Tout primitif qu'il paraisse, c'est probablement de tous les foyers métallurgiques le plus satisfaisant comme appareil économique, voire même fumivore, lorsqu'il est habilement conduit. L'accès du charbon frais et sa direction dans le feu peuvent être ménagés de manière à traiter la houille par distillation d'abord, puis graduellement par combustion directe du coke formé, et avec une méthode aussi parfaite que possible.

Cet appareil fait depuis longtemps la base du traitement de l'acier pour bandages à Allevard. — Disons en passant que la fabrication des bandages en acier de l'usine d'Allevard repose aujourd'hui exclusivement sur l'emploi de ce mode de chauffage, appliqué sous toutes les formes, soit au corroyage des paquets, soit au réchauffage des pièces à laminer (1) ou même des cercles à finir. Je ne crains pas d'affirmer qu'à Allevard les difficultés nombreuses qu'a présentées la fabrication des bandages en acier eussent plus d'une fois équivalu à l'impossible (2) sans les solutions presque inespérées qu'ont fournies les petits fours à vent.

C'est donc à ce système particulier de chauffage qu'on a eu recours encore pour donner aux deux amorces du bandage la chaude importante et délicate qui doit fermer le cercle.

Étude du four à souder. — Pour bien faire comprendre le modèle de four auquel on s'est arrêté après plusieurs essais, il

(1) Il faut donc observer qu'on a dans ce cas à réchauffer des barres atteignant jusqu'à 1m 50 en longueur pour les grands bandages.

(2) On s'étonnera peut-être de mon insistance sur les difficultés de fabrication des bandages en acier : elles sont bien réelles cependant, et il ne faut pas les juger d'après les facilités avec lesquelles on réalise maintenant les bandages, rails et autres pièces en *acier puddlé* à la houille. Les aciers naturels affinés au charbon de bois ont fait leurs preuves comme acier, mais on décore aujourd'hui volontiers du nom d'acier des produits qui n'y ont d'autres droits qu'un affinage plus ou moins incomplet dans le four à puddler. C'est faire assez bon marché de l'ensemble des conditions très-complexes qui font le véritable acier, et notamment de l'importance des fontes et de leur provenance. N'a-t-on pas été jusqu'à prétendre par puddlage faire de l'acier, et excellent, avec les fontes au coke les plus communes, dont on n'a jamais pu tirer qu'un fer détestable.

faut se reporter à la forme élémentaire du four à vent, type primitif de l'appareil (fig. 12).

BB est le charbon ; *d, d,* la tuyère ; A, la pièce à chauffer autour de laquelle la flamme tourbillonne dans la direction des flèches pour s'échapper ensuite par les fentes de la porte en *f, f.* La région *c, c,* c'est-à-dire le contre-vent, est la région de plus grande chaleur ; le chauffage n'est donc pas uniforme, et en effet il faut retourner sur elle même la pièce en travail pendant les chaudes pour égaliser le chauffage. Or, une pareille manœuvre devient naturellement impraticable quand il s'agit d'une soudure occupant une certaine portion d'un cercle ; aussi les premières tentatives, faites en plaçant le bandage dans le four comme dans la figure 13, n'ont-elles donné que des chaudes irrégulières. La surface de roulement et le boudin étaient surchauffés avant que la partie *b, b,* fût convenablement atteinte.

La figure 14 donne la disposition au moyen de laquelle on a pu vaincre cette difficulté.

Trois systèmes de fours semblables ont été accolés et réunis par leur milieu. L'ensemble a la forme d'un triangle équilatéral, dont les angles sont occupés par le charbon en combustion et le milieu des bases par les tuyères. Les trois jets de vent sont dirigés suivant les trois médianes, et les tuyères sont placées dans des plans horizontaux différant très-peu, juste assez pour que les trois veines d'air ne se coupent pas mutuellement. La partie centrale du four, point de convergence de trois foyers, est le siége d'un développement de chaleur intense et parfaitement égale de tous côtés.

La soudure est présentée dans ce laboratoire comme l'indiquent les fig. 15 et 16.

Les deux systèmes de tuyères et de combustibles CC' et BB' chauffent la partie extérieure des amorces qui correspond à la surface de roulement et au boudin du bandage. Le système AA'

chauffe la partie intérieure. Ce système est seul de ce côté, mais son action est directe au lieu d'être oblique.

La figure 15, qui donne l'élévation de l'appareil, montre comment le bandage est engagé dans le four. Il occupe une entaille en arc de cercle pratiquée dans l'enveloppe réfractaire, et les vides sont bouchés en *d, d, d, d*, par une pâte de houille menue serrée autour du profil. Un couvercle retombe sur le tout. La figure 16 le suppose enlevé, mais on le voit dans la fig. 15. Il est percé d'un orifice à axe vertical qui fait cheminée précisément au-dessus de la soudure. C'est à peu près la seule issue des produits de la combustion, et sa disposition contribue puissamment à assurer à la chaude la direction ascendante qui est nécessaire dans ce cas, et qui, du reste, est le propre des petits fours à vent en général. On voit qu'en longueur, la partie chauffée du bandage est limitée entre deux murailles de charbon menu dans la zône *v, x, y, z*, qui est aussi courte que possible, condition de première importance. C'est principalement pour n'en rien sacrifier que la soudure ne se place pas plus avant vers le milieu du four.

Il y a d'autres motifs (facilités de manœuvres notamment) qui obligent à reporter un peu la soudure vers une des pointes de l'appareil; mais il ne faut pas se hâter de croire que le point milieu serait le plus avantageux comme intensité de chauffage : la pièce elle-même deviendrait dans ce cas un obstacle à la bonne circulation des gaz provenant des deux tuyères obliques, et les deux foyers correspondants perdraient beaucoup de leur effet sur la chaude.

Préparation de la soudure. — Voici maintenant comment la soudure est préparée au moment de sa mise au feu :

Les deux amorces sont, comme je l'ai dit, coupées simplement selon un plan diamétral et normal au cercle ; elles sont jointives, non refoulées, et telles que les a fournies le trait de scie qui a affranchi la barre avant le cintrage.

Mise principale. — On commence par faire bâiller les deux amorces à froid d'une ouverture de 5 à 6 centim. au moyen d'un coin engagé entre deux; puis on place une barre d'écartement intérieurement au cercle, et selon le diamètre perpendiculaire au joint. Cette barre est de longueur à maintenir l'écartement forcé des amorces après la chute du coin dont on se débarrasse.

Dans l'ouverture des amorces devenue libre, on suspend une mise en fer doux qui sera la mise principale de la soudure (fig. 17). Les deux branches de T qui la surmontent n'ont pour but que de la maintenir en place pendant la durée de la chaude.

La dimension *b* du corps de mise (fig. 18) dépasse sensiblement la largeur du profil du bandage, et l'épaisseur *c* laisse encore entre les amorces deux vides, *a, a* (fig. 17), donnant accès aux gaz.

C'est en cet état que la soudure est engagée dans le four, et reçoit la chaude, qui dure de quinze à dix-huit minutes, et dont voici les particularités :

Conduite de la chaude. — Deux regards obliques *a, a* (fig. 19) permettent d'observer pendant le chauffage et à chaque instant les quatre plans de joint, devant comme derrière : c'est donc à l'œil que le chauffeur se guide ; il voit les surfaces rougir, blanchir, et les amorces prendre enfin l'apparence boutonnée particulière à l'acier lorsqu'il atteint le maximum de chaleur qu'il peut supporter. La mise passe promptement au blanc soudant ; sa chaleur, en raison de la position isolée et des petites dimensions de cette pièce, se maintient constamment supérieure à celle des amorces, circonstance heureuse qu'il faudrait provoquer par tous les moyens, si elle ne se produisait ici naturellement. La température de la mise est bientôt telle, qu'il faut un fer de qualité supérieure comme celui d'Allevard pour y résister aussi longtemps.

Maniement des foyers et du vent. — En même temps que le chauffeur peut suivre des yeux les progrès de sa chaude et la

manière dont elle se répartit sur les plans de joint, il dispose des moyens les plus efficaces pour corriger toute tendance irrégulière. Il a, en effet, trois foyers indépendants, dont il peut modifier et diriger l'action, non-seulement au pique-feu, mais encore et bien mieux, par les trois clefs qui règlent l'introduction du vent.

Caractères de ce système de chauffage.—Ce rapide aperçu de l'opération donne l'idée de ce qu'on peut en attendre comme sécurité dans le résultat. Ce qui doit frapper, indépendamment de la puissance de chauffage, c'est que cet appareil est maniable autant que possible, et que l'élaboration s'y fait pour ainsi dire à nu : on voit le travail et on en est maître; c'est aussi la manière dont la pièce est préservée du contact du combustible.

Forgeage de la soudure : 1° dans le four même.— La chaude étant reconnue bien atteinte à cœur, on procède au forgeage, et la première partie de cette opération se fait dans le four même, sans que le chauffage soit suspendu. D'un coup de masse on fait tomber la barre d'écartement, qui, seule, s'oppose au rapprochement des deux amorces. Le cercle agit alors par son élasticité, et les amorces sont violemment ramenées l'une contre l'autre en comprimant la mise. En ce moment, par les regards du four, un œil exercé au feu peut voir exsuder, le long des joints de la soudure, la couche en fusion qui enduisait les surfaces avant leur réunion.

La chaude portée se trouve donc accomplie dans le four même, et sans que le vent soit diminué. Aussitôt après on serre un fort tendeur à rochet, placé dès le principe au dessus de la barre d'écartement, selon le même diamètre, et destiné à agir en sens contraire. Ce tendeur, qui saisit le boudin du bandage par deux crochets massifs aux deux extrémités du diamètre, produit par son raccourcissement une compression énergique de la soudure. Cette opération se fait encore dans le four. Les surfaces de joint se refoulent et s'épanouissent en bourrelets qui font saillie tout autour de la mise.

C'est alors seulement qu'on enlève rapidement le couvercle et qu'on sort du feu.

2° *Sur l'enclume.* — Le bandage est porté vivement sous un pilon à bras de 200 kilogrammes (fig. 20).

Le diamètre normal aux plans de joint est placé verticalement; il repose en bas sur une enclume fixée dans le sol, et se présente en haut aux chocs du pilon, qui frappe sur le crochet du tendeur, faisant fonction de chasse. C'est donc un véritable forgeage normal au joint, et qui est transmis à la soudure par le cercle lui-même. Un homme est à la clef du tendeur, et la serre brusquement à chaque coup de pilon, sous l'impression immédiate du choc.

Efficacité de ce forgeage. — Pendant toute la durée du pilonnage, trois frappeurs contreforgent la soudure au marteau à main, en dedans et en dehors. Après une douzaine de coups, la soudure présente l'apparence de la fig. 21.

État de la soudure après la pose de la mise principale ; son nettoyage. — En *a* et *a'*, sont des bourrelets repoussés par le forgeage, et qui font ordinairement saillie de 12 à 15 millim. Le chapeau de la mise qui portait primitivement sur le plat du boudin en est séparé par un vide *i, i,* de 18 à 20 millim., dû à l'étirage de la mise elle-même sous les coups du pilon. Ce sont autant de témoignages assez concluants de l'efficacité du forgeage.

On découpe à la tranche et profondément les parties *a* et *a'*, et la soudure prend la forme qu'indique la fig. 22; il n'y reste que la région moyenne de la mise. Ainsi tout ce qui peut avoir été altéré au feu ou avoir fait prise douteuse est largement éliminé.

Son achèvement à la forge à main. — En cet état, le cercle est porté à la forge ordinaire, où s'achève la soudure. On répète une chaude soudante en *a* pour reprendre encore une fois par corroyage les premiers plans de joint, et on dégorge à la panne l'amorce d'une première mise-lien, qui se place ensuite par chaude portée. On fait de même en *a'* pour une seconde mise-lien.

La fig. 23 donne l'aspect de la soudure terminée. Cette figure indique le rôle et l'étendue des différentes mises.

Examen de quelques détails de l'opération. — On comprend que la réalisation pratique et courante de l'ensemble de ces opérations comporte un assez grand nombre de détails qu'il est inutile d'exposer ici. Je veux seulement appeler l'attention sur les plus importants, qui intéressent plus immédiatement le succès.

Forme de la mise principale. — Les fig. 17 et 18 ont pu faire remarquer déjà que le corps de la mise est bombé dans la partie moyenne de sa longueur. On conçoit l'avantage de cette disposition, qui assure la prise au milieu du profil, et tend même à la reporter exclusivement dans cet endroit. Or, on a pu le reconnaître facilement, toutes les précautions dont on entoure la pose de cette mise principale, le four-triangle lui-même avec ses dispositions particulières, n'ont d'autre but que de réaliser une prise bien sûre dans le milieu du profil. C'est qu'en réalité tout le problème de la soudure des bandages est là.

Son épaisseur. — L'épaisseur à adopter pour les mises n'était pas indifférente. D'assez longs tâtonnements l'ont déterminée. Il était bon de la réduire autant que possible, afin de diminuer la tranche de fer doux qu'elle introduit sur la surface de roulement. Mais sa limite convenable s'est bientôt fait sentir. Des mises trop faibles ne tiennent plus au feu; ce n'est pas tout : au moment où tombe la barre d'écartement, les deux amorces se rapprochent bien avec violence, mais l'élasticité du cercle n'est pas assez complète pour les ramener au contact absolu, et une mise trop mince pourrait bien, à ce moment important où se fait le premier collage des joints, n'être pas comprimée autant qu'il est désirable. L'épaisseur adoptée en raison de cette considération est environ de 25 ou 26 millimètres. Des expériences directes ont donné 1,500 à 3,000 kilogrammes, suivant les diamètres et les profils, comme valeur de l'effort de compression exercé sur une mise de cette épaisseur par la seule réaction des cercles. Les mises en bon fer

ont, d'ailleurs, à cette dimension, une résistance au feu très-suffisante.

Rôle de la mise principale, sa nécessité. — Je réponds maintenant à une question que provoque naturellement ce qui précède. Pourquoi une mise? Pourquoi ne pas traiter dans le four triangulaire les deux amorces légèrement entrebaillées et les souder de la même manière sans aucune interposition?

On n'a même pas tenté cet essai à Allevard. Une mise est indispensable, ne serait-ce que pour avoir entre les plans de joint une pression naturelle notable. Non seulement les deux amorces juxtaposées ne seraient pas sollicitées naturellement l'une contre l'autre, mais le cercle ne tarderait pas à agir énergiquement en sens inverse; il ne faudrait, pour cela, que le refoulement qui s'opère dans le métal de la soudure, soit par l'effet du tendeur, soit dès les premiers coups du pilon.

Pour les bandages en acier, la mise intermédiaire est motivée en outre, et bien impérieusement, par l'extrême difficulté des deux amorces à s'épouser dans toutes leurs parties et à se pénétrer mutuellement. Quelles que soient la pression ou la température dont on use, l'acier se détruit au feu ou fond sans passer par l'état pâteux auquel le bon fer est amené si facilement. La mise de fer agit donc dans une soudure sur acier à la manière d'une colle épaisse, que la pression fait adhérer à coup sûr à tous les accidents des surfaces à réunir.

Le fait suivant n'étonnera pas les personnes qui connaissent les phénomènes de structure du fer, et du fer doux surtout.

Direction des fibres métalliques de la mise principale. — Les premières mises qu'on a employées à Allevard étaient tirées naturellement d'une barre ayant la largeur et l'épaisseur des mises elles-mêmes, de sorte que le fil du métal était disposé en long dans celles ci comme dans toute barre de fer. Les soudures exécutées ainsi n'ont pas présenté une résistance extrême dans les essais de rupture, soit à froid, soit à chaud. Les plans de joint ne lâ-

chaient pas, et présentaient, au contraire, tous les caractères d'une excellente prise, mais la mise principale se divisait en deux suivant un plan moyen, parallèle aux deux plans de joint, et la cassure montrait, bien accusée, une texture fibreuse arrachée en long et semblable à celle d'un éclat de bois refendu par un coin. (fig. 24.)

Évidemment, les mises se présentaient mal dans la soudure par rapport à leur résistance propre. On les prépare maintenant d'une tout autre manière : elles sont débitées à la scie, transversalement et par tranches, dans une barre de fer ayant en *largeur* et en *épaisseur* la *longueur* et la *largeur* des mises, comme le montre la fig. 25 ; de sorte que, placées dans le bandage, les mises présentent leur fil dans le même sens qu'une section courante du cercle. Cette précaution a fait disparaître toute tendance au dédoublement.

IV. — *Résumé.*

Le nouveau système de soudage d'Allevard s'attaque de front aux difficultés du problème des soudures. — En résumé, le mode de soudage dont je viens d'exposer l'ensemble est une solution directe des difficultés particulières de la question. Plus de coin, plus de plans de joint obliques; les deux amorces sont présentées carrément bout à bout, et s'offrent à l'action directe d'un forgeage diamétral, que l'emploi du pilon peut rendre aussi puissant qu'il est nécessaire.

Ainsi posé, le problème était inabordable avec la forge à main. C'est, en effet, son insuffisance pour de bonnes chaudes dans ces conditions primitives qui a conduit à tous les expédients dont se compose le mode de soudage ancien, et qui n'ont jamais été que des biais plus ou moins heureux tournant la difficulté.

La création du four à chauffer les amorces en est le point capital. — Le point capital de la nouvelle méthode est donc la créa-

tion d'un appareil de chauffage admettant, avec des garanties inconnues jusqu'ici, les formes d'amorces quelconques, et particulièrement le genre d'amorces le plus naturel, celui qui place le joint dans un plan normal et diamétral au cercle.

Il est une réflexion qu'il faut prévenir ici, toute superficielle qu'elle est : Le résultat valait-il ces efforts? Fallait-il encore ajouter cet appareil nouveau à la longue série des outils spéciaux qu'exige la fabrication des bandages? En présence de la nécessité de pareils moyens, pourquoi ne pas s'en tenir, par exemple, aux bandages sans soudure, qui résolvent le problème bien plus catégoriquement encore?

Importance de la questions des soudures au point de vue général de la fabrication des bandages. — Les faits répondent depuis longtemps. On sait aujourd'hui combien peu la fabrication des bandages sans soudure se prête aux soins de traitement, à la perfection du corroyage notamment, condition première du bon service des bandages.

Bandages sans soudure. — Le système sans soudure a reçu de remarquables applications comme puissance et économie de production, aussi bien que par les beaux appareils de laminage auxquels il a donné naissance, et aussi par le fini de forge qu'il donne aux pièces, ce qui est toujours une séduction ; mais qu'on ne l'oublie pas, pour corroyer l'acier, et même pour corroyer le fer quand il s'agit de bandages, ce n'est pas trop d'avoir à traiter des paquets maniables et des barres de forme ordinaire, sur lesquels on peut répéter les chaudes et opérer par étirage au marteau, toutes choses sacrifiées jusqu'à présent dans la préparation des bandages sans soudure.

Il ne faut donc pas se dissimuler l'importance des perfectionnements dont la soudure des cercles est susceptible. Arriver à la sécurité de ce côté, c'est détruire, pour un mode de fabrication dont les avantages à tous égard sont considérables, la seule ob-

jection sérieuse qui prend sa gravité dans la crainte bien légitime des accidents au service.

Sécurité que peut inspirer le nouveau système de soudage. — Cette sécurité, qu'il faudrait complète, est-t-elle obtenue par le procédé de soudage employé aujourd'hui à Allevard ? Je le crois ; et c'est ce dont témoignent les épreuves qui ont été faites à cette usine sous toutes les formes. Je dirai peu de chose de ces essais : il est nécessaire d'y assister pour en retirer une conviction. Je ferai seulement observer qu'ils renseignent d'une manière extrêmement concluante, et qui, on peut le dire, saute aux yeux. Non seulement on peut avec facilité rompre une soudure, soit à chaud, soit à froid, de manière à comparer sa résistance ; mais en présentant sous un fort marteau pilon un segment détaché du cercle après le soudage, et contenant la soudure en son milieu, on peut aussi provoquer la rupture de ce segment où l'on veut, dans un plan de joint ou ailleurs, puis briser les morceaux de manière à obtenir, en définitive, une dissection complète de la soudure, mettant à nu les moindres altérations comme les plus légers défauts de prise.

Les épreuves de ce genre, appliquées journellement aux soudures qu'on fait à Allevard, offrent en réalité de curieux résultats. Il est exceptionnel qu'une soudure, sollicitée franchement selon les joints par le coup de pilon, ne casse pas *à côté* d'un plan de joint à quelques millimètres et dans le corps même du bandage. En brisant ensuite dans l'autre sens les deux fragments, on retrouve dans l'un d'eux la coupe transversale de la mise en fer, incorporée dans les sections voisines, et dont le grain doux fait une sorte de filon sur le grain acier de celles-ci ; le raccordement des deux grains présentant une dégradation de l'une à l'autre qui donne la mesure de l'assimilation des deux métaux, et laisse insaisissable la position exacte des plans de joint.

Il faut remarquer qu'il est bien peu de travaux de forge susceptibles d'un contrôle aussi positif.

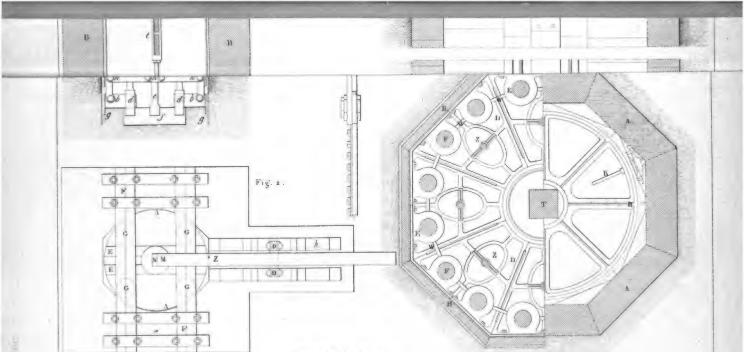


Fig. 2.

Echelle { de 0,025 p^r les fig. 1 et 2.
.. 0,050 .. .. .. 3 . 4.
.. 0,667 5
.. 0,050 .. .. .. 6.

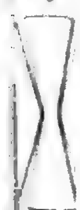
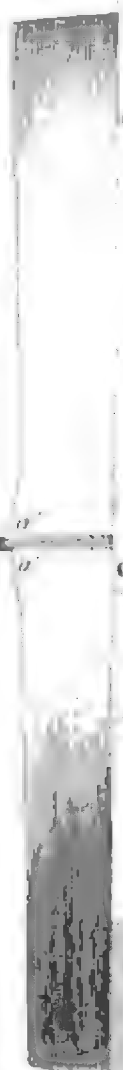


Fig. 15. Élévation
B

Fig. 10.



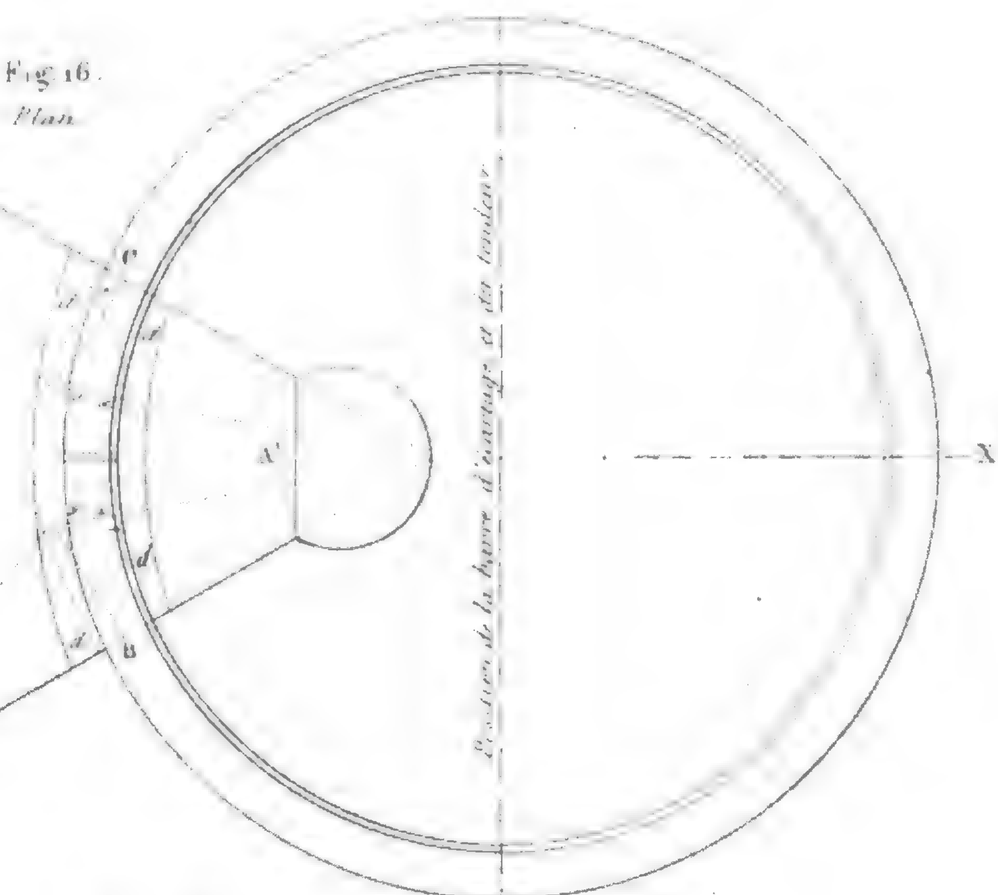


Fig. 16.
Plan.
C
A'
B
X'

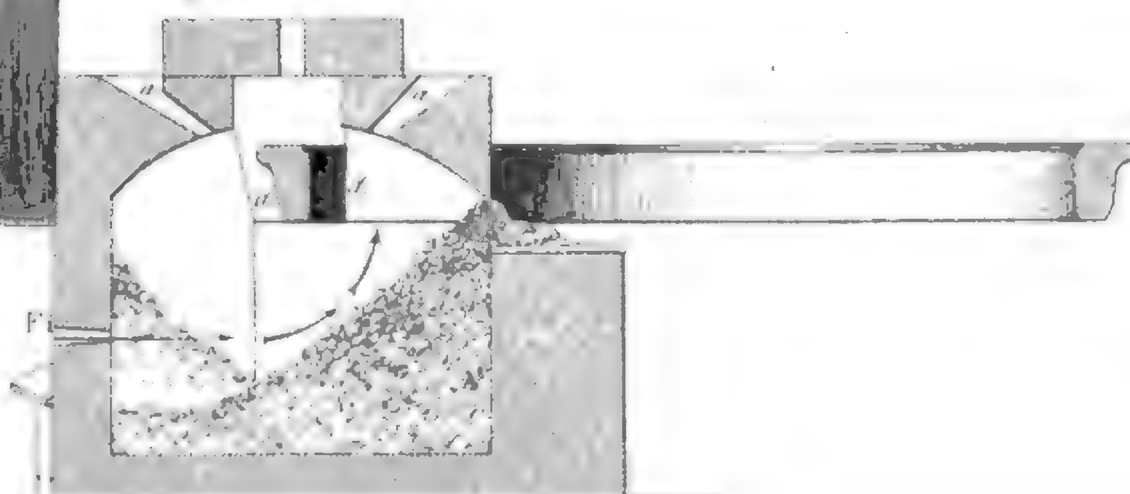


Fig. 19. Coupe XX'

MÉMOIRES

ET

COMPTE-RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(AVRIL, MAI ET JUIN 1859)

N° 6.

Pendant ce trimestre, on a traité les questions suivantes :

1° *Matériel roulant* du chemin de fer de Paris à Lyon par le Bourbonnais. (Voir le résumé de la séance du 1er avril, p. 177.)

2° *Fondations du pont de Kelh sur le Rhin*, par M. Vuigner. (Voir les résumés des séances des 1er avril, 6 mai et 17 juin, p. 178, 195 et 221.)

3° *Embrayage électrique appliqué à l'alimentation des chau-*

dières à niveau constant, par M. Achard. (Voir le résumé de la séance du 1er avril, p. 179.)

4° *Injecteur alimentaire de M. Giffard.* (Voir le résumé des séances des 1er et 15 avril, et du 6 mai, p. 181, 182 et 194.)

5° Discussion sur les *Eaux de Paris.* (Voir les résumés des séances des 15 avril, 6 et 20 mai et 17 juin, p. 184, 198, 209 et 222.)

6° *Fabrication des tuyaux en plomb étamés intérieurement et extérieurement*, par M. Sebille. (Voir le résumé de la séance du 6 mai, p. 195.)

7° *Fusion de l'acier et fabrication des aciers fondus par réaction*, par M. Emile Barrault. (Voir le résumé de la séance du 6 mai, p. 200.)

8° *Betons agglomérés*, par M. François Coignet. (Voir le résumé de la séance du 20 mai, p. 205.)

9° *Lampe sous-marine de M. Guigardet.* (Voir le résumé de la séance du 20 mai, p. 212.)

10° *Sondages exécutés dans le Sahara oriental*, par M. Ch, Laurent. (Voir le résumé de la séance du 3 juin, p. 214.)

11° *Coupes géologiques du sol de Paris*, par M. Delesse, ingénieur des mines. (Voir le résumé de la séance du 3 juin, p. 214.)

12° *Voie posée sur semelles en fer*, par M. Barroux. (Voir le résumé de la séance du 3 juin, p. 215.)

13° *Situation financière de la Société.* (Voir le résumé de la séance du 17 juin, p. 220.)

14° *Grue hydraulique* et *Grue roulante*, par M. Ch. Richoux. (Voir le résumé de la séance du 17 juin, p. 222.)

Pendant ce trimestre, la Société a reçu :

1° De M. Noblet, éditeur, un exemplaire des deux premières livraisons de 1859 de la *Revue universelle des mines et de la métallurgie;*

2° De M. Andraud, membre de la Société, un exemplaire d'une Notice sur la brouette modifiée par cet ingénieur;

3° De la Société d'encouragement, son bulletin des mois de février, mars, avril et mai 1859;

4° De M. de Ruolz, membre de la Société, un exemplaire de son mémoire sur les rapports entre les variations de l'hygromètre et l'intensité des épidémies cholériques;

5° De M. Oppermann, les numéros de mars, avril, mai et juin 1859, des *Nouvelles annales de la construction et du portefeuille économique des machines;*

6° De M. César Daly, les numéros 9, 10, 11 et 12, de la *Revue d'architecture;*

7° Du journal *the Engineer,* les numéros des mois d'avril, mai et juin 1859,

8° De M. Bazaine, ingénieur en chef des ponts et chaussées,

par l'intermédiaire de MM. Fèvre et Baret, un exemplaire du *Recueil de documents relatifs au matériel roulant des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, ligne du Bourbonnais;*

9° De la Société des ingénieurs de Londres, les résumés de leurs séances;

10° De M. Coquerel, membre de la Société, un exemplaire d'une Notice sur Philippe de Girard, par M. Benjamin Rampel, et un Mémoire rédigé par les héritiers de cet illustre inventeur;

11° Les numéros de mars, avril, mai et juin 1859, des *Annales forestières et métallurgiques;*

12° Les quatrième et cinquième livraisons de 1858, des *Annales des Mines;*

13° Les numéros de mars, avril et mai 1859, des *Annales des conducteurs des ponts et chaussées;*

14° De M. Desnos, membre de la Société, les numéros d'avril, mai et juin 1859, du journal l'*Invention;*

15° De M. Bougère, membre de la Société, un exemplaire de sa Notice sur l'injecteur-automateur de M. H. Giffard;

16° Des *Annales télégraphiques*, les numéros de mars, avril et mai 1859;

17° De M. Mellet, ingénieur, un exemplaire de son troisième Mémoire sur le percement des isthmes de Suez et de Panama;

18° De M. Marsillon, membre de la Sociètc, une note sur un foyer fumivore imaginé par M. Papillon;

19° De M. Normand, du Havre, un exemplaire de sa brochure sur les brevets d'invention;

20° De M. Maldant, membre de la Société, un exemplaire d'une brochure sur les docks à Bordeaux;

21° De M. Burel, membre de la Société, un exemplaire d'une note sur le projet d'un port de refuge dans la Seine;

22° De M. Petit de Coupray, membre de la Société, un exemplaire de son *Annuaire des chemins de fer* pour les années 1858 et 1859;

23° De M. Desbrière, membre de la Société, un exemplaire de son Mémoire sur un nouveau système d'éclisses;

24° De la Société de l'industrie minérale de Saint-Etienne, le numéro de son bulletin du quatrième trimestre 1858;

25° Le numéro de novembre et décembre 1858 des *Annales des Ponts et Chaussées;*

26° De l'Institution *of Mechanical Engineers*, les numéros de novembre et décembre 1858, et janvier 1859 de son bulletin;

27° De la Société impériale et centrale d'Agriculture, les numéros 1, 2 et 3 du tome quatorzième de son bulletin;

28° De M. Oppermann, les numéros de mars, avril, mai et juin 1859, de son *Album pratique de l'art industriel.*

29° Les numéros 11 et 12 de 1858 et les numéros 1 et 2 de 1859, de la *Revue des Ingénieurs autrichiens.*

30° De la Société de Mulhouse un exemplaire de son dernier bulletin ;

31° De M. Barroux, membre de la Société, une note sur son système de voie posée sur semelles en fer ;

32° De M. Ch. Laurent, membre de la Société, un Mémoire sur les résultats des sondages dans le Sahara oriental ;

33° De M. Benoît Duportail, membre de la Société, un modèle d'étampes à équerres mobiles et un modèle d'essieux coudés fabriqués par M. Laubinière, de Rouen ;

34° De M. Love, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure sur les *Prescriptions administratives réglant l'emploi des métaux dans les appareils et constructions intéressant la sécurité publique*, et un exemplaire de son ouvrage sur la *Résistance de la fonte, du fer et de l'acier, et de l'emploi de ces métaux dans les constructions;*

35° De M. Yvert, membre de la Société, de la part de M. Delesse, ingénieur des mines, un dessin donnant deux coupes géologiques du sol de Paris ;

36° De M. Richoux, membre de la société, une note et le dessin d'une grue hydraulique.

36° De MM. Le Chatelier, E. Flachat, Petiet et Polonceau, un exemplaire du *Guide du mécanicien constructeur et conducteur de machines locomotives ;*

38° De M. François Coignet, membre de la Société, un exemplaire d'un *Rapport sur l'emploi à la mer et sur terre des bétons agglomérés à base de chaux.*

39° De M. Armengaud aîné, membre de la Société, un exemplaire de son *Traité théorique et pratique des moteurs hydrauliques.*

40° De M. de Laveleye, ingénieur, un exemplaire d'une *Notice géologique : Affaissement du sol et envasement des fleuves survenus dans les temps historiqnes.*

Les membres nouvellement admis sont les suivants :

Au mois d'avril,

MM. de Clervaux, présenté par MM. Faure, Eug. Flachat et Mony.

Cuinat, présenté par MM. Faure, Callon et Lainé.

Artus, présenté par MM. Guillaume, Boivin et Mélin.

Au mois de mai,

M. Lemonon, présenté par MM. Faure, Callon et Thomas.

RÉSUMÉ DES PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

PENDANT LE 2e TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1859.

SÉANCE DU 1er AVRIL 1859.

Présidence de M. FAURE.

En faisant connaître les publications et ouvrages qui ont été offerts à la Société depuis la dernière séance, M. le Président croit devoir appeler d'une façon toute spéciale l'attention de la Société sur un ***Recueil de documents relatifs au matériel roulant du chemin de Paris à Lyon par le Bourbonnais***, dressé sous la direction de M. Bazaine, ingénieur en chef, par MM. Fèvre, ingénieur du matériel de cette ligne, et Baret, chef du bureau des études.

M. le Président croit utile de lire un extrait de l'introduction rédigée par M. Bazaine : « Nous savons, par notre propre expérience, dit cet ingénieur « distingué, combien il est désirable de pouvoir connaître avec exactitude ce « qui a été fait par d'autres ; et nous croyons que pour ces motifs comme « sous d'autres rapports, il importe que les ingénieurs chargés de la con- « struction des chemins de fer, conservent les dessins de types et les do- « cuments concernant les travaux de quelque importance qui les ont occu- « pés ; que, non-seulement ils en fassent collection, mais qu'ils multiplient « assez cette collection pour qu'il puisse se faire entre ingénieurs, échange « de communications dont le résultat, en définitive, tourne au profit de « l'instruction, du progrès, ainsi que de l'économie dans les dépenses. « Les procédés autographiques..... donnent le moyen de réaliser cette me- « sure. La dépense.... peut même n'avoir presque point d'importance, etc. »

Ces idées justes, pratiques et libérales à la fois, doivent être signalées avec un éloge bien senti, et M. le Président est certain d'être l'interprète des sentiments de tous en remerciant M. Bazaine pour les avoir exprimées et mises en pratique.

Deux atlas, comprenant ensemble 109 planches de ***dessins d'exécution,*** avec leurs cotes et un volume de texte contenant des renseignements et devis vraiment précieux, composent cette remarquable publication. M. le Président doit donc remercier M. Bazaine d'abord, et ensuite MM. Fèvre et Baret, membres de la Société, qui ont édifié ce monument d'une utilité si incontestable. N'est-il pas désirable que le bon et bel exemple, dû à l'initiative de M. Bazaine, soit suivi par tous les ingénieurs en chef des grands travaux exécutés par les compagnies ?

M. Vuigner fait connaître ensuite à la Société l'état d'avancement des travaux de fondation du pont de Kelh, sur le Rhin.

J'avais indiqué, dit M. Vuigner, que je tiendrais la Société au courant de l'état d'avancement des travaux de fondation du pont sur le Rhin, à Kelh. — Je viens remplir cette promesse.

Depuis ma dernière communication, les quatre caissons en tôle, formant la fondation de la pile culée de la rive française, ont été descendus dans le fond du lit du fleuve, qui avait été disposé au moyen de draguages à la main de manière à présenter une surface horizontale à 3m. au-dessous de l'eau.

Cette opération s'est faite au moyen de vérins à vis sans fin placées à un angle de chaque caisson et pouvant supporter chacun une charge de 15,000 kil.

Ces caissons ont été réunis entre eux d'une manière provisoire pour qu'ils puissent descendre simultanément avec toute la régularité nécessaire.

Lorsque les caissons ont été à fond, leur surface supérieure s'est trouvée à 0m.60 au-dessus de l'eau, et on a pu monter ainsi la cheminée à air, les cheminées de service et une portion des coffre ou chassis de bois.... Une cheminée par caisson a été garnie de sa chambre à air; les norias ont été disposées dans la cheminée de service, et mises en communication avec la machine à vapeur qui devait les faire mouvoir. — Les bateaux sur lesquels sont montées les machines à comprimer l'air ont été amenées contre l'enceinte de la pile, et on a pu commencer alors le fonçage des caissons dans le gravier.

Cette opération s'est faite jusqu'ici avec la plus grande régularité en plan, comme en hauteur.

Le 23 mars, les caissons étaient descendus de	. . . . . .	1	52
le 24	. . . . . .	1	97
le 25	. . . . . .	2	40
le 26	. . . . . .	2	87
le 27	. . . . . .	3	41
le 28	. . . . . .	3	72
le 29	. . . . . .	3	99
le 30	. . . . . .	4	27

de sorte qu'à cette dernière date la partie inférieure du caisson se trouvait à 7m.27 au-dessous de l'eau.

On était alors dans une couche de gravier mêlé d'argile et de falaise, qui n'est pas encore traversée, et dans laquelle on a trouvé des ancres et des boulets..... C'était probablement le lit du fleuve, il y a quarante-cinq ou cinquante ans.

Toutes les machines ont fonctionné convenablement, et les ouvriers ont travaillé sans difficulté dans l'intérieur des caissons, où l'air n'a été comprimé, du reste, qu'à 7 ou 8 dixièmes d'atmosphère.

Comme le gravier n'est pas également compressible, il est arrivé parfois que les caissons ont pris une légère inclinaison, mais on a pu les remettre dans leur position normale avec la plus grande facilité au moyen des vérins qui ont servi pour les faire descendre au fond du lit et qu'on a

maintenus pour assurer la régularité de leur fonçage en allongeant leur tige successivement.

Les caissons sont aussi restés réunis d'une manière provisoire, et on les maintiendra ainsi jusqu'à ce que l'expérience ait fait reconnaître qu'il en résulte des inconvénients.

Avant de commencer le fonçage des caissons, on avait fait une maçonnerie en beton avec ciment romain dans les coffres en bois qui leur sont superposés. On continue de maçonner ainsi à sec, au fur et à mesure du fonçage du caisson, et, comme on l'a indiqué déjà, cette maçonnerie forme d'abord une charge nécessaire qui restera comme fondation de la pile.

On a commencé aussi une maçonnerie avec briques et ciment romain dans l'intérieur des caissons contre les armatures pour augmenter leur rigidité.

Les graviers qui sont enlevés par la noria sont rejetés dans de petits wagons, placés dans des bateaux et enlevés ensuite au moyen d'une forte grue à vapeur, pour être rejetés sur la berge, de telle sorte qu'on peut s'en servir pour la maçonnerie en beton.

M. le Président remercie M. Vuigner au nom de la Société qui apprend avec la plus grande satisfaction la bonne marche de ces grands et hardis travaux, dont le succès l'intéresse à tant de titres.

M. le Président donne lecture d'une lettre qui lui a été adressée par M. Richard, membre de la Société, ingénieur de section au chemin de fer de l'Ouest, en résidence à Saint-Lô. Elle annonce aux membres de la Société qu'une exposition industrielle et agricole et un concours régional doivent s'ouvrir dans cette ville au mois de mai prochain. M. Richard, membre de la commission d'organisation de cette exposition départementale, exprime le désir qu'un grand nombre de personnes se présentent à ce concours où elles sont assurées d'être accueillies avec la plus sincère cordialité.

M. le Président annonce que le bulletin du dernier trimestre de 1858 va être distribué et que le bulletin du premier trimestre de l'année 1859 est sous presse. Il rappelle l'arriéré considérable qui existait lorsque M. Callon est arrivé à la présidence ; il est donc juste d'adresser de vifs remerciements à MM. Callon et E. Flachat qui ont réussi à combler cet arriéré. L'un des secrétaires, M. H. Péligot, qui a bien voulu s'occuper activement de la publication de nos bulletins trimestriels, doit prendre sa part dans ces remerciments très-mérités.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Achard, membre de la Société, sur un embrayage électrique appliqué à l'alimentation des chaudières à niveau constant.

M. Achard, après avoir exposé les inconvénients et les dangers que présente l'alimentation des chaudières dans les conditions ordinaires où le niveau et la tension sont exposés à des variations fréquentes par suite de la négligence des chauffeurs, fait ressortir les avantages et l'importance d'une alimentation régulière.

M. Achard explique ensuite en quoi consiste l'embrayage électrique dont il est l'inventeur et comment cet appareil réalise l'alimentation à niveau constant.

Un *levier moteur* reçoit un mouvement alternatif, au moyen d'une bielle de transmission mue elle-même par la machine à vapeur.

Ce levier moteur entraîne dans son mouvement une armature qui porte deux électro-aimants et deux cliquets à cheval sur une roue dentée qu'ils font marcher tantôt de droite à gauche tantôt de gauche à droite.

A chaque oscillation la tête de chaque cliquet vient butter contre un petit levier monté sur un axe mobile armé d'un contre-poids destiné à le rappeler et monté dans un support fixe. Ce petit levier repousse la tête du cliquet, la fait basculer en dégageant la dent qu'il poussait devant lui et met le cliquet en contact avec l'électro-aimant.

Tant que le courant électrique ne circule pas à travers les électro-aimants, les cliquets vont impunément butter contre les pôles et font tourner la roue à rochet alternativement à droite et à gauche.

Si le courant électrique circule à travers un seul des électro-aimants, les pôles l'aimanteront et, au moment où l'armature en fer doux de la tête du cliquet viendra butter contre cet électro-aimant, il sera fortement retenu et le cliquet ne pourra pas atteindre les dents de la roue, tandis que l'autre cliquet continuera à faire tourner la roue.

Enfin, si le courant circule à la fois à travers les deux électro-aimants, es cliquets seront soulevés tous les deux et la roue restera immobile malgré le mouvement de va-et-vient continuel du levier moteur.

On comprend donc que si, d'une part, la roue à rochet est calée sur un arbre portant un levier à fourchette, qui entraîne un autre levier placé sur la tête de la clé d'un robinet d'alimentation; et que, d'autre part, on fasse agir à propos un courant électrique sur l'un ou l'autre des électro-aimants, le robinet d'alimentation s'ouvrira, se fermera ou restera ouvert ou fermé suivant que le niveau de l'eau sera trop bas, trop élevé ou convenable. M. Achard obtient facilement la circulation du courant dans les électro-aimants aux moments convenables, en faisant agir le flotteur sur une aiguille à contrepoids, qui, suivant qu'elle est au-dessus ou au-dessous de la position qui correspond au niveau normal, agit sur des contacts qui dirigent le courant électrique dans un des électro-aimants ou dans l'autre ou dans les deux à la fois.

Les contacts sont établis de manière à limiter à un quart de tour le mouvement de la roue à rochet et du robinet, de manière à ouvrir ou à fermer exactement, lorsqu'il faut alimenter ou cesser l'alimentation.

Enfin, dans le cas où, par suite d'un dérangement quelconque, le niveau s'élève ou s'abaisse au delà d'une certaine limite, les contacts cessent d'agir et, le courant ne circulant plus dans les électro-aimants, les cliquets restent constamment en prise avec la roue à rochet; et, comme l'un de ces cliquets fait avancer deux dents tandis que l'autre n'en fait avancer qu'une seule, la roue à rochet tourne constamment et va butter contre le ressort d'une forte sonnerie d'alarme qui retentit indéfiniment jusqu'à ce qu'on soit venu réparer le dérangement.

M. Achard fait fonctionner son appareil. Il donne la démonstration des diverses circonstances de son fonctionnement.

Il indique ensuite sommairement l'application du même principe ou de son embrayage électrique, à la conduite d'un frein spécial pour les véhicules des voies ferrées, en donnant quelques détails sur les appareils déjà réalisés par lui dans ces conditions. Il espère d'ailleurs pouvoir faire connaître à la société les résultats d'expériences qui doivent être prochainement entreprises avec un système de freins conduit par son embrayage électrique.

M. le Président, après avoir remercié M. Achard de son intéressante communication, croit devoir faire observer que l'appareil de M. Achard est appliqué déjà dans plusieurs établissements où il fonctionne depuis un certain temps et avec beaucoup de régularité.

Depuis un mois, notamment, le régulateur d'alimentation de M. Achard fonctionne chez M. Eug. Bourdon, et atteint très-bien le but voulu d'une alimentation à niveau constant. M. Bourdon confirme ces indications.

M. Faure, parlant comme membre de la Société, fait la communication suivante : L'appareil régulateur d'alimentation des chaudières de M. Achard, lorsque j'ai su qu'il occuperait la Société, m'a rappelé quelques faits, et une coïncidence que je crois utile de soumettre à la Société. Il y a six semaines environ, je venais de voir un prospectus avec dessin et légende, l'***Injecteur alimentaire de M. Giffard***, qui préoccupe en ce moment tous ceux qu'intéresse la machine à vapeur sous ses formes et usages divers, et je me proposais d'appeler votre attention sur l'appareil de M. Giffard, en provoquant les études de tous sur les intéressants phénomènes qui se produisent dans cette ***nouvelle application*** des tubes coniques divergents. Le basard a voulu qu'au jour, à l'heure même où j'avais pour la première fois sous les yeux le croquis avec légende publié par MM. Giffard et Flaud, je recevais la visite d'un de nos collègues, venant me demander conseil. Il m'apportait le texte et les dessins d'un brevet de 1848, d'un brevet de 1857, en même temps que deux appareils par lui exécutés en 1848, en 1849. « Voilà ce que j'ai fait, me disait-il; voilà, de plus (et il me les racontait), les faits et les circonstances qui m'ont empêché, dans ces derniers temps, de poursuivre des recherches et des expériences bien anciennes déjà, tour à tour reprises et quittées. Je suis loin, très-loin, de vouloir gêner en quoi que ce soit M. Giffard dans une application à laquelle je n'avais pas songé, je le déclare. Par-dessus tout, j'ai horreur des procès, vous savez pourquoi, et cependant il serait juste que l'on sût ce que j'avais fait avant M. Giffard. »

Je conseillai un appel à M. Giffard en vue d'une conférence en présence de deux ingénieurs choisis par les deux intéressés; cet appel a été décliné.

Dès lors, et assuré par déclaration expresse de M. Bourdon, que l'examen ***historique*** des faits, des dates relatifs à de très-curieuses et pour moi très-remarquables coïncidences entre des appareils imaginés, conçus, réalisés par M. Eugène Bourdon d'une part, par M. Giffard d'autre part, avec telles applications indiquées par le premier, telle autre réalisée par le second et non prévue par le premier; que cet examen historique et chronologique serait ***exclusivement*** réduit à l'état d'une simple question d'étude, j'ai voulu, Messieurs, vous soumettre les éléments de cette étude.

Voyez, comparez, analysez. Point de discussion, point de débat, point de procès, surtout; cela est entendu *à priori*. Mais que chacun de nous se puisse faire une idée exacte touchant ces bizarres coïncidences, non pas seulement dans le principe, mais encore et surtout dans les dispositions essentielles ou seulement utiles des appareils destinés à le réaliser.

M. Faure fait ensuite passer sous les yeux des membres de la Société un certain nombre de croquis faits à une même échelle, et destinés à mettre en saillie des analogies qui lui ont semblé incontestables.

Un membre ayant demandé si le jet de vapeur à travers un tube conique, appliqué dans des circonstances plus ou moins analogues, n'avait pas été employé déjà avant les brevets Bourdon de 1848, M. Faure signale, sans qu'il soit besoin de rappeler le jet de vapeur dans les cheminées des locomotives, une ingénieuse application due à M. Pelletan, et adaptée par lui, il y a quelques vingt ans, à la production du vide, dans les appareils à sucre, sans préjudice d'ailleurs d'autres antériorités qui pourraient être invoquées mais dont il n'a pas connaissance.

M. E. Barrault affirme la parfaite bonne foi de M. Giffard et son ignorance touchant les travaux ou les appareils de M. Bourdon, représentés dans les croquis qui viennent de passer sous les yeux des membres présents.

M. Faure répond que, bien que n'ayant pas l'honneur de connaître M. Giffard, il sait qu'il doit le tenir pour un homme essentiellement honorable, pour un inventeur ayant fait ses preuves déjà, pour un ingénieur habile.

Donc il ne faut pas déplacer la question; elle est et doit rester sur le terrain de ces coïncidences curieuses.

Il y a lieu à examen, dans l'intérêt de tous, mais nullement à récriminations qui ne seraient dans le caractère de personne, écartées d'ailleurs et *à priori* par M. Bourdon d'abord, par M. Faure ensuite, qui sans cela, ne se serait pas cru le droit de dire ce qu'il a dit sur ce sujet.

Quelques observations sont échangées touchant les idées théoriques, les résultats à espérer en ce qui touche l'appareil de M. Giffard; et M. Faure annonce qu'en ce moment on se prépare à l'appliquer à une locomotive, en vue de supprimer les pompes alimentaires qui compliquent si fâcheusement cette machine. M. E. Barrault signale ce fait que l'injecteur Giffard exigerait, pour fonctionner, de l'eau à une température de 40 à 50 degrés au plus.

L'heure trop avancée conduit plusieurs membres de la Société à demander que l'on ajourne la reprise de la discussion sur les eaux de Paris.

SÉANCE DU 15 AVRIL 1859

Présidence de M. Faure

Après avoir donné connaissance d'une lettre de M. Bougère, membre de la Société, accompagnant l'envoi de sa *Notice sur l'Injecteur automoteur*, M. le Président donne lecture de la lettre suivante, qui vient de lui être adressée par M. *Giffard*, inventeur de ce très-intéressant appareil :

« J'ai sous les yeux le Compte-rendu de la séance du 1er avril, dans laquelle il a été question de mon appareil injecteur. Je n'ai qu'à me féliciter de ce qui a été dit de cette invention, et je n'aurais qu'à remercier la Société de sa bienveillance, s'il n'avait été question des prétentions de M. Bourdon à une certaine priorité d'idée. Sans entrer dans une discussion qui serait sans doute intempestive, je ne puis m'empêcher de déclarer :

« 1° Qu'entre mon brevet, dont l'objet est parfaitement défini, et celui de M. Bourdon, dont j'avoue ne pas comprendre encore le but, il n'y a aucune identité ;

« 2° Que la similitude apparente des dessins ou images n'est pas plus grande qu'elle ne serait entre les dessins de mon brevet et la copie d'une cheminée de locomotive, avec son tuyau d'échappement à orifice variable ; ou bien encore la coupe d'une lampe à modérateur avec ses tubes ascendants, ses orifices, son aiguille de réglage, etc.

« 3° Que, faire comparer les dessins de M. Bourdon aux miens, sans comparer en même temps les textes, c'est induire en erreur celui qui fait la comparaison.

« 4° Que M. Bourdon lui-même connaissait depuis longtemps les dessins de l'injecteur, sans se douter qu'il pourrait y avoir, selon lui, quelque connexité entre cet appareil et ses tubes divergents ;

« 5° Enfin, que je n'ai pas hésité un instant de refuser de soumettre à un arbitrage ce qui, dans mon esprit, ne laisse aucun doute.

« Je vous prie, Monsieur le Président, de vouloir bien donner à mes déclarations la publicité de votre Compte-rendu, et d'agréer.... »

M. Bourdon exprime le désir que la publication demandée soit reculée jusqu'à ce qu'il ait pu répondre à M. Giffard.

M. le Président fait remarquer que M. Giffard n'étant pas membre de la Société, il y a pour elle un devoir de convenance courtoise et d'équité stricte à ne pas différer la publication demandée par cet ingénieur.

M. J. Farcot, membre de la Société, fait la communication suivante :

« Dans un intérêt historique, je crois devoir faire connaître à la Société que M. le marquis de *Mannoury-Dectot*, a pris, le 14 août 1818, un brevet d'invention, avec addition et perfectionnements, en date du 21 août, pour toute une série de machines diverses, parmi lesquelles on trouve ses *dynatransfères, machines à transmission de puissance vive*. Il emploie des jets de vapeur pour transmettre la puissance vive de la vapeur à d'autres fluides, liquides ou gazeux. Il constitue ainsi des souffleries et des élévations d'eau, et transmet aussi, par des jets analogues, la puissance vive d'un liquide à un autre liquide.

M. Mannoury-Dectot employait des ajutages coniques, (dont le jet se projette dans le tube à section croissante auquel il a donné le nom de Dynatransfère) ; il raconte les résultats des expériences qu'il faisait aux Quinze-vingt sur ses différentes machines. Il est probable que, s'il ne fut pas mort aussi jeune, et vers 1820, M. Mannoury-Dectot serait arrivé à des résultats pratiques.

On trouve la série des machines de cet inventeur remarquable dans le tome 26e de la publication des brevets expirés (Paris, 1835).

Je n'ai vu en aucun endroit du mémoire de Mannoury-Dectot, ajoute M. Farcot, qu'il ait pensé à employer les jets de vapeur pour alimenter les chaudières. Je crois donc qu'il est de toute équité de laisser à M. Giffard le mérite de son ingénieuse application. J'ai voulu seulement, et dans un intérêt historique, signaler les travaux du marquis Mannoury-Dectot.

M. le Président remercie M. Farcot de son intéressante communication; il rappelle, en outre, qu'il a lui-même, dans la dernière séance, indiqué les remarquables expériences de Venturi sur les tubes à cônes divergents et leur propriété, connue des Romains, d'augmenter le débit à travers un orifice de section donnée. Le traité d'hydraulique de M. d'Aubuisson de Voisins donne à ce sujet des détails très-précis.

L'ordre du jour appelant la reprise de la discussion au sujet du Mémoire de M. le préfet de la Seine sur les *Eaux de Paris*, M. le président donne lecture des observations suivantes adressées à la société par un de ses membres, qui n'a pu assister à la séance :

Je demande, dit l'auteur de ces observations, que la discussion soit ramenée à son point de départ, à savoir la quantité d'eau utile et la qualité de cette eau.

Quant à la quantité d'eau qui serait consommée par les familles pauvres et riches, si l'eau était livrée à domicile, pure, fraîche et limpide, et si elle ne coûtait pas plus de 20 c. à 25 c. le mètre cube, il est certain qu'elle serait plus considérable que le projet ne le suppose.

Il est impossible d'en juger par ce qui se passe aujourd'hui, puisqu'à proprement parler, il n'y a pas d'eau disponible, parce qu'il faut aller la chercher; qu'elle est impure, trouble et souvent chaude.

Que l'on dise aux gens du monde que nos ouvriers mettent une chemise blanche le dimanche et ne la quittent que le dimanche suivant; que l'impossibilité de passer journellement le linge à l'eau, à domicile, oblige à des savonnages dispendieux et au lessivage plus dispendieux encore, par conséquent rares; qu'en conséquence l'ouvrier revêt pour travailler des blouses et pantalons de couleur foncée, qu'il ne quitte que lorqu'ils sont en lambeaux; que le pauvre ne mange pas de légumes, parce que leur préparation exige beaucoup d'eau, et de bonne eau; que les ablutions corporelles se font habituellement, à l'aube ou à la tombée du jour, dans la rue, près des fontaines publiques, ou qu'elles ne se font pas du tout pendant la semaine; ceux qui ne fréquentent ni ne connaissent la classe ouvrière croiront à l'exagération, et cependant nous pourrions signaler encore des habitudes que le manque d'eau a créées et qui nuisent autant à la dignité de l'homme qu'à son bien-être.

Dans les familles bourgeoises, la consommation d'eau tend à augmenter dans d'énormes proportions : chacun de nous, regardant au tour de soi, reconnaît qu'elle dépasse 500 litres par tête, quand l'eau est à discrétion.

Il faut donc beaucoup d'eau, si elle est bonne et à bon marché; il en faut infiniment moins, si elle est mauvaise et chère.

Si l'eau de source peut être trouvée et assurée, pure, fraîche, limpide et à bon marché, elle sera de tous points préférable à l'eau de Seine.

Mais comme on ne pourra l'obtenir ni en quantité, ni peut-être avec la régularité suffisante; que, d'ailleurs, certaines éventualités sont attachées à cet unique moyen d'alimentation, il faut un auxiliaire. Ce sera l'eau de Seine ou des eaux de source plus rapprochées, élevées par des machines.

L'alimentation exclusive par l'eau de Seine aurait les plus graves inconvénients. L'eau de Seine est souvent malsaine, impure, trouble et chaude; et ces défauts, loin de diminuer, s'accroissent chaque année.

On dit que l'eau de Seine, prise en amont de l'embouchure de la Marne, sera de bonne qualité; il ne faut connaître ni le régime de la rivière, ni les circonstances qui influent sur la qualité de l'eau, pour partager cette confiance.

Il est reconnu que, par suite du déboisement, de la diminution des prairies et de la mise des terres en culture, l'écoulement des eaux pluviales devient de plus en plus rapide, et que les eaux arrivent aux rivières plus chargées de parties végétales; de telle sorte que, non-seulement l'étiage baisse sensiblement et d'année en année par la diminution du débit dans les temps de sécheresse, mais encore que la vitesse du courant diminue; que la quantité d'eau restant en stagnation sur les bords est plus considérable; que, par la réduction de vitesse et l'absence d'ombre, la température de l'eau s'élève sous l'influence des rayons solaires; que la fermentation se développe rapidement; qu'elle amène à sa suite une véritable animalisation, et que la présence de l'ammoniaque dans l'eau est constatée alors et chaque année par la destruction du poisson.

A ce moment, l'eau de la Seine a, sur tout son cours, en amont comme en aval de Paris, une sapidité fort différente de celle qu'elle a en hiver; elle est à la fois malsaine et de mauvais goût. Or, c'est le moment où l'on en fait le plus grand usage. Elle peut à ce moment augmenter le développement de bien des épidémies, elle n'en arrêtera aucune.

Cependant, sur toute cette partie du cours de la Seine en amont de Paris, il n'existe encore aucun travail tendant à perfectionner la navigation. Que sera-ce lorsque, cédant aux vœux des intérêts qui réclament ces améliorations, les barrages et retenues viendront rendre stagnante, en amont comme elle l'est en aval, la moitié de la superficie des eaux.

La pureté, la fraîcheur, la limpidité de l'eau dans les rivières, ne sont pas conciliables avec les dispositions propres à la navigation.

Les eaux d'alimentation exigent un courant régulier et suffisamment rapide, de l'ombrage sur les rives, etc.

Faudra-t-il sacrifier la navigation à ce nouvel intérêt?

Les observations que recueille l'Institut sur la teneur en ammoniaque des eaux stagnantes, même à une très-faible distance du courant; la constatation obtenue, par les observations au microscope, que l'eau stagnante se charge, quand sa température dépasse 15 à 18 degrés, et par le simple contact avec la poussière, de corpuscules dont la fermentation, d'abord végétale, donne rapidement naissance à une énorme production de vie ani-

male ; ces observations, disons-nous, attirent aujourd'hui tout aussi sérieusement l'attention que l'impureté minérale de l'eau sur laquelle le rapport donne de lumineuses indications. Elles permettent de dire que ce serait, au point de vue de l'hygiène, une imprudence injustifiable que d'alimenter Paris avec une eau dont la température dépasse, pendant des mois entiers, 25 degrés, et qui est tellement chargée de matières végétales et autres, qu'au bout de deux ou trois jours de repos dans les récipients, elle devient infecte, si elle n'est pas filtrée.

C'est du reste là une question qui est du ressort de l'Institut, et qu'il est désirable de lui voir renvoyée.

En attendant, on peut affirmer avec certitude que l'avenir de l'alimentation des grandes villes appartient plus aux eaux de source qu'aux eaux de rivière.

Partout, en toute circonstance semblable, on a manifesté cette préférence, et on n'a reculé que dans des cas spéciaux et pour ainsi dire obligés.

On reconnaît cependant que l'auxiliaire des eaux de Seine élevées par les machines est un complément indispensable ; et qu'après avoir satisfait, en amenant l'eau de source, une nécessité de premier ordre, celle de donner de l'eau constamment potable à la population, il conviendra de compléter par l'eau de Seine les autres services, à défaut d'eau de source plus rapprochée.

Les travaux nécessaires pour amener les eaux de source soulèvent, il est vrai, des objections ; mais il semble que, dans la circonstance actuelle, il n'en est aucune à laquelle l'art ne réponde.

Le projet cherchera l'eau de source au dessous de son niveau habituel d'écoulement pour en puiser une plus grande quantité. Il y a là une éventualité : c'est vrai ; mais l'éventualité est limitée seulement à l'excédant. On est assuré de la quantité qui s'écoulait ; et on peut, dans le cas d'insuffisance, ajouter le produit d'autres sources.

Il n'y a pas d'exemple d'un aquéduc qui se soit maintenu dans l'argile plastique, et celui-ci sera établi sur cette formation sur une partie de son parcours : cela est encore vrai ; mais l'art, qui n'était pas autrefois éclairé sur cette difficulté, saura l'éviter ; on peut s'en rapporter aux ingénieurs pour cela.

L'obstruction de l'aquéduc en un point entraînera sa destruction sur une grande distance, parce qu'il ne pourra résister à la pression du dedans au dehors ; mais il est pour cette éventualité des solutions diverses et faciles.

En cas de guerre ou d'émeute, Paris sera exposé à être privé des eaux de source. Sur les bords de la Seine, cet argument n'a pas de valeur.

Les eaux de source arrivant à un point élevé, les conduites actuelles ne pourront pas supporter la pression ; mais cet inconvénient peut être évité par des réservoirs étagés.

Enfin, les eaux seront chaudes, parce qu'elles séjourneront plusieurs heures dans des conduites qui sont maintenues à la température des égouts.

Cette objection, dont la gravité n'est peut-être pas contestable et doit être l'objet de la plus sérieuse attention, s'applique bien plus aux eaux de Seine, dont la température initiale sera, en été surtout, plus élevée que celle des égouts avant d'entrer dans les conduites.

Les objections ainsi écartées ou affaiblies, reste le prix de l'eau. Le mètre cube d'eau de source reviendra à cinq centimes; il n'est guère possible que l'eau de Seine coûte beaucoup moins.

Quant aux frais d'établissement relatifs à celle-ci, il faut comprendre ceux des machines et celui des filtres. Cette dernière dépense sera considérable.

Le travail mécanique ne s'élèvera guère à moins de deux chevaux par litre d'eau élevé par seconde à 75 mètres de hauteur. Il est vrai que la hauteur moyenne sera moindre; mais alors les filtres et les réservoirs seront échelonnés, les machines spécialisées pour chaque pression, et la dépense d'établissement fortement accrue.

Il ne faut pas considérer comme très-économique, en combustible, l'application du travail de la vapeur aux pompes à refoulement fonctionnant sous de fortes pressions. C'est certainement l'un des problèmes les plus difficiles de l'art de l'ingénieur. Il n'y a là aucune analogie avec les beaux exemples de machines élévatoires que nous connaissons tous, ou de machines refoulant l'eau sous des pressions de deux à trois atmosphères.

Ce n'est pas que l'emploi des machines à l'élévation de l'eau doive être considéré comme une difficulté.

La plus sérieuse critique que mérite le projet qui est présenté au public, c'est d'avoir émis un doute sur la régularité absolue dont le fonctionnement d'une machine est susceptible. Il n'était pas nécessaire d'aller chercher bien loin des exemples. Depuis douze années, les machines qui montent les trains à Saint-Germain, sur la voie atmosphérique, n'ont pas subi d'interruption. Il est regrettable que cette facheuse préoccupation contre l'emploi des machines plane sur l'ensemble du projet.

L'eau de source a de meilleurs arguments que les reproches que l'on fait à l'emploi des machines; et ces arguments eussent été produits au grand profit de la discussion et de l'opinion publique, si une espèce de fin de non recevoir n'avait été opposée à l'eau de Seine, tirée de la nécessité de l'élever par des machines.

Le parti pris, à priori, de ne pas faire contribuer les machines à l'alimentation d'eau de la ville de Paris a cela de très-facheux, qu'il a conduit à rechercher à une très-grande distance les eaux de source, afin de les faire arriver à un niveau assez élevé. Il est certain qu'on eût pu en trouver de plus abondantes et d'aussi pures à des distances beaucoup plus rapprochées, bien qu'à des niveaux inférieurs. Mais dans ce cas, l'emploi des machines eût dû compléter le système.

Cette observation semble d'autant plus fondée que, plus la question s'élabore dans l'opinion publique, plus il semble que la répulsion pour l'eau de Seine, même prise en amont de la Marne, se manifeste et s'étend. Beaucoup d'ingénieurs sont convaincus que les eaux d'un fleuve ayant aussi peu de pente, et par conséquent, aussi peu de vitesse d'écoulement que la Seine; suivant une vallée si large, si découverte, si cultivée; recueillant ses eaux par une infinité d'affluents d'un faible débit, et d'un régime plus lent encore que le sien propre, deviendra avec le temps (dans beaucoup de temps si l'on veut) plutôt un égout qu'un cours d'eau, pure, limpide, fraîche, comme

devait l'être l'eau de Seine il y a quelques siècles, mais comme elle ne l'est plus aujourd'hui, tant s'en faut.

Les savants et les ingénieurs penseront généralement qu'une eau si chaude, où la vie animale se développe en quelques heures pendant l'été, peut apporter, ou conserver, ou aggraver, les fléaux épidémiques les plus sérieux.

Nous partageons ces craintes, et nous n'hésiterons pas à considérer comme une des responsabilité les plus graves que puisse assumer un administrateur chargé de la solution de cette question, que de la résoudre en donnant la préférence à l'eau de Seine.

En appuyant le projet parce qu'il rejette l'alimentation par l'eau de Seine, nous ne nous dissimulons aucune des difficultés de son exécution; mais nous ne croyons pas, cependant, pouvoir nous associer aux objections qui ont été présentées dans la dernière réunion.

Il est trop facile, en substituant l'étude de quelques heures à des mois ou à des années d'étude sur lesquelles s'appuie le devis d'un ingénieur dont on exalte cependant la compétence, de dire que son devis sera dépassé de 40 p. 0/0. Il faudrait pour cela définir et préciser les éventualités dont l'ingénieur n'a pas tenu compte, ou, à défaut, être conséquent avec les éloges que l'on prodigue à son travail et à son habileté.

Nous ne croyons pas davantage qu'il soit exact d'appliquer l'intérêt de 6 p. 0/0 au crédit de la ville de Paris; et nous concluons qu'il n'est pas encore démontré que le prix de 5 centimes le mètre cube, pour l'eau de source amenée par la rigole, sera dépassé.

Mais on est arrivé au prix de 4c.6 pour l'eau de Seine; et ce n'est pas sans s'exposer à des objections que, cette fois, il soit difficile de définir et de préciser.

La mesure de la puissance des machines à vapeur a été, jusqu'à ce jour, la force du cheval, estimée 75 kil. élevés à un mètre par seconde.

Mais cette mesure a toujours été prise sur l'organe soumis le plus directement à la force motrice, c'est-à-dire sur l'arbre de la manivelle.

Ici on fait passer le travail moteur par des transmissions, par des pompes, par une longue conduite, et on admet que la puissance motrice ne sera réduite que d'un cinquième.

Faire une part d'un cinquième de la puissance motrice aux décompositions de force dans les transmissions, quelque simples qu'elles soient; aux coefficients de contraction de l'eau passant à travers les clapets; aux forces vives absorbées par les différences de vitesse de l'eau, par les réservoirs d'air, par les chocs; à la perte de charge résultant de la conduite de refoulement; cela peut être un espoir; mais, d'après les données actuelles de l'expérione et du calcul, c'est assurément une illusion.

C'est plutôt du simple au double qu'il faut calculer la perte de travail moteur dans l'emploi des pompes au refoulement, sous l'influence de fortes pressions.

On dit aussi « Une machine de cent chevaux est bonne pour cent-quarante, en faisant marcher les pompes à une vitesse plus grande. »

Si nous épousions cet argument, que l'expérience et le calcul repoussent

également, les défenseurs du projet pourraient répondre avec plus de justesse que la rigole peut aussi amener plus d'un mètre par seconde.

Quant à l'établissement des bassins de filtrage, qu'il faut supposer couverts et presque doubles pour la facilité du nettoyage des superficies utiles, il faudrait montrer comment on y peut suffir avec une dépense de quatre millions, quelle sera la vitesse et la durée du dépôt, etc. Un chiffre aussi faible a besoin de justifications.

On serait certainement fondé, en face de ces objections, à élever aussi de quarante pour cent les appréciations qui ont été opposées aux eaux de source, en faveur des eaux de Seine; mais ce n'est pas ainsi que la discussion amènera l'évidence. La première, et la plus importante de toutes les données du projet, est la qualité comparative de l'eau. Or, sur ce point, le projet est inattaquable; et l'on énonce une vérité incontestable en disant que l'avenir ne menace nullement les eaux de source, tandis qu'il menace incessamment les eaux de rivière.

La moindre part qu'on puisse faire au projet, c'est aussi d'en admettre le devis. C'est, par contre, une part trop complaisante à faire aux données émises dans l'avant dernière réunion, que d'admettre le prix de revient de 5 c. le mètre cube pour l'eau élevée par les machines. C'est de l'égalité du coût dans les deux cas qu'il faut partir. Commençons donc par prendre la meilleure eau, et tâchons d'en avoir le plus possible.

Quand nous aurons l'eau de source, on pourra la mettre en concours avec l'eau de Seine, en livrant l'élévation et la distribution de celle-ci comme de l'autre à l'industrie privée. La consommation aura bientôt dit son mot, et elle basera ses besoins sur la nature et l'abondance de chacune.

On a fait au projet une autre objection, celle d'apporter tout d'un coup cent mille mètres d'eau potable et pure à une population qui n'en emploie pas dix mille aux usages de la famille, ce qui frappera d'inutilité, pendant un grand nombre d'années, une dépense considérable. Avec l'emploi des machines, ajoute-t-on, la dépense serait constamment proportionnée à la consommation.

Cette objection n'est que spécieuse. Si la population parisienne consomme si peu, c'est, on l'a dit, parce que l'eau qu'on lui donne est souvent trouble, toujours impure, malsaine, de mauvais goût, et qu'on la lui distribue dans des conditions qui obligent de l'aller chercher, ou de l'attendre, ou de la payer cher; que rien dans les logements n'est préparé pour son usage, etc.

En un mot, si l'usage de l'eau n'est pas répandu, c'est que, faute d'eau, nos mœurs ne s'y sont pas faites; mais cela nous manque, comme manque l'air dans les grandes chaleurs ou le pain dans la disette. Nos regards, notre odorat, notre marche, sont constamment et péniblement affectés dans nos maisons et dans nos rues par le manque d'eau. Nos promenades sont mieux servies, mais il n'y faut pas boire l'eau qui y réjouit la vue; elles ne sont si abondamment pourvues que parce qu'on ne sait que faire de la mauvaise eau. Si l'eau est bonne et bien distribuée, il y aura un moyen certain d'en faire pénétrer très-rapidement l'usage dans la population : c'est de la prodi-

guer aux classes pauvres. Les cent mille mètres seront bien vite utilisés.

On doit dire de l'eau comme de l'air, comme du blé, comme de tout ce qui est une des nécessités de l'existence : il n'en faut pas un peu, ni assez, ni beaucoup, il en faut trop.

M. le Président remercie, au nom de la Société, l'auteur absent de ces observations. Il ajoute qu'en l'absence de ce collègue, il croit convenable d'ajourner la discussion à laquelle elles pourraient donner lieu.

Pour ma part, dit M. Faure, et bien que plusieurs des assertions ou opinions émises par notre collègue absent me semblent contestables quelques unes, exagérées quelques autres, je me reprocherais de dire aujourd'hui et sur ce sujet ce que je suis naturellement conduit à penser et à dire, puisque la note de notre cher et bon collègue vise parfois un travail que j'ai moi-même soumis à la Société.

M. le Président fait connaître ensuite que M. Richoux a demandé à analyser devant la Société un travail inédit dû à M. Rodier, ancien architecte voyer de la ville du Mans. Cette étude ou avant projet propose et discute d'importantes modifications au tracé de dérivation étudié par MM. Belgrand, Rozat de Mandres et Collignon.

M. Richoux analyse de la manière suivante le mémoire manuscrit de M. G. Rodier.

Le projet de dérivation des sources de la Somme-Soude présenté par M. le Préfet de la Seine admet comme une loi constante que la disposition intérieure du sol a une analogie naturelle avec le profil de la surface; conséquemment que le mouvement des eaux qui pénètrent une couche perméable suit même sous terre le cours des vallées, et que toute tranchée creusée au fond d'une vallée sèche située dans un tel terrain doit nécessairement rencontrer l'eau à une profondeur plus ou moins grande, mais là en plus grande abondance que sous tout autre partie du sol.

Comptant d'une manière absolue sur cette théorie, les auteurs du projet n'hésitent pas à commencer l'aquéduc avant d'ouvrir les tranchées de recoupement des sources, et ils regardent comme impossible d'obtenir les eaux à une hauteur supérieure à la cote 104; ce qui les conduit à les rendre dans les bassins de Belleville à la cote 84m 72.

La théorie admise par M. Belgrand est-elle rigoureuse et ne pourrait-on pas recueillir les eaux à une cote plus élevée que ne le suppose le projet de M. le Préfet? Telles sont les questions que se pose M. Rodier dans le mémoire dont nous allons donner l'analyse.

Les terrains les plus favorables à la théorie énoncée par M. Belgrand sont les terrains formés par une couche de sable meuble reposant sur une couche imperméable; or dans ces terrains M. Rodier a eu souvent l'occasion de remarquer des sources très-abondantes jaillissant, non pas du thalweg, mais bien d'un point élevé du flanc de la vallée n'offrant aucun plissement extérieur. Il y a donc chance, mais non certitude, de traverser les sources en fouillant ces terrains suivant le thalweg; on ne doit donc pas, *a fortiori*, appliquer cette théorie, d'une manière absolue, aux terrains formés par des roches calcaires cohérentes.

M. Rodier admet bien que la porosité des couches est une des données qui influent sur le gisement des eaux; mais il pense que les roches calcaires cohérentes, si remarquables tant par la rareté des sources qu'on y rencontre que par l'abondance de celles qui en surgissent, se caractérisent surtout par la présence de fissures, les unes encore béantes, les autres ressoudées par des remplissages postérieurs à la première formation, et dont l'ensemble forme une série de canaux communiquant plus ou moins bien entre eux, se rapprochant ou s'éloignant de la surface du sol, s'étranglant et s'élargissant tour à tour. Dans cette hypothèse, quel que soit le point du réseau aquifère attaqué, l'eau doit sortir; et, dès lors, il suffit pour obtenir un volume d'eau donné que les terrains supérieurs, au niveau de la source, soient capables de recevoir et de laisser pénétrer dans leur sein une quantité de pluie suffisante.

Dans la théorie de M. Belgrand, la configuration du terrain indique celle de la nappe d'eau; et, si celle-ci se fait jour en un point, on peut déduire de la position de la source produite les niveaux supérieurs et inférieurs de la nappe. Dès lors il est inutile d'ouvrir des tranchées de recherche en dehors de ces limites, et même il convient de ne les pratiquer que dans le thalweg des vallées sèches, puisque c'est là qu'on doit rencontrer l'eau en plus grande abondance. Dans cette hypothèse, les tranchées à ouvrir doivent marcher constamment dans l'eau, et par suite leur exécution doit rencontrer de nombreuses difficultés.

Dans l'hypothèse admise par M. Rodier, la question d'altitude est subordonnée à une question bien plus importante, celle d'ouvrir logiquement et de relier à peu de frais un grand nombre de tranchées.

Les tranchées ouvertes dans des roches cohérentes quoique tendres exigeraient peu de boisages; elles pourraient être faites avec des pentes convenables pour ouvrir dans les vallées naturelles un débouché aux veines d'eau rencontrées, et par suite leur exécution ne présenterait presque pas de difficultés.

Reste donc à savoir laquelle de ces deux hypothèses concorde le mieux avec les faits observés.

Dans l'hypothèse de M. Belgrand, on ne peut s'expliquer comment les eaux ne jaillissent pas de tous les points des thalwegs inférieurs à la nappe d'eau dont on suppose l'existence; on ne comprend pas comment certaines parties du thalweg inférieur à la nappe supposée absorbent l'eau au lieu d'en donner; enfin on ne voit pas comment dans les temps de sécheresse une nappe, dont la surface doit être immense, peut laisser tarir certaines sources, puis les rendre abondantes, dans un laps de temps assez court.

Dans l'hypothèse de M. Rodier, il n'y a pas de nappe d'eau, mais seulement des fissures formant une sorte de canalisation souterraine; dès lors la question d'altitude des tranchées est à peu près secondaire: pourvu que ces tranchées soient un peu profondes et un peu longues, elles ont chance de recouper quelques veines.

En admettant que les fissures soient remplies les unes par des matières perméables, les autres par des matières imperméables, on conçoit fort bien

que les sources ne puissent jaillir de tous les points de la masse crayeuse, et l'on voit facilement que cette masse peut absorber l'eau de toute part.

Enfin, il suffit d'admettre que les veines liquides qui communiquent entre elles, plus ou moins librement, aient un débouché noyé dans une rivière pour comprendre que le débit d'une source dépendant du réseau des fissures puisse varier avec les crues de cette rivière, et par conséquent subir des variations très-brusques.

On peut conclure de cette discussion que l'hypothèse admise par M. Rodier satisfait beaucoup mieux aux faits observés que celle qui sert de point de départ à M. Belgrand, et par conséquent, qu'il ne serait pas logique d'entreprendre la construction de l'aquéduc de dérivation avant d'avoir recoupé les sources et s'être rendu compte du volume d'eau qu'on peut en espérer.

En examinant le projet de l'Administration au point de vue des dispositions générales, M. Rodier pense qu'aujourd'hui que la quantité d'eau nécessaire à Paris, par suite de son agrandissement, doit être porté à 200,000 mètres cubes par jour, il convient de prendre les eaux à différentes sources, et de profiter de la situation géologique du bassin de la Somme-Soude pour obtenir le volume nécessaire à l'alimentation des points les plus élevés de la ville. En conséquence il recherche s'il ne serait pas possible d'obtenir pour ces points 60 000 mètres cubes d'eau en la prenant à la cote 140 mètres, ce qui permettrait de l'amener à la cote 112 mètres au minimum, soit à 27 mètres au-dessus des bassins projetés à Belleville.

L'examen de la carte de l'État Major montre que le massif crayeux qui sépare les bassins de la Marne et de l'Aube s'élève jusqu'à la cote 243 mètres, et qu'en traçant une courbe horizontale située à la cote 140 et passant par les vallées de la Coole, du Mont, de la Soude, de la Vaure et du Puits, on délimite sur trois côtés le versant ouest du massif crayeux sur lequel des drainages pourront s'étendre; et on enveloppe, en recoupant les angles rentrant de cette courbe par une suite de tranchées et de galeries dont le fond passe par la cote 140, une superficie de terrains égale à 319 kilomètres carrés, devant recevoir annuellement un minimum de pluie représentant un cube de 159 500 000 mètres. L'expérience indique qu'un certain nombre de sources débitent $\frac{21}{100}$ de la pluie tombant sur le bassin qui leur correspond. (On peut citer entre autres la source de la Dhuis, dont le régime a été étudié par M. Belgrand.) Le bassin ci-dessus circonscrit peut donner 93 000 mètres cubes par jour; mais, en-dessus et en amont des 319 kilomètres de terrains que nous avons indiqués, il existe une surface de 60 kilomètres carrés encore bien plus élevée, qui rendrait certainement aux tranchées une grande partie de l'eau de pluie qu'elle recevrait. Par conséquent on peut conclure avec quelque apparence de raison qu'on obtiendrait de ce bassin les 100 000 mètres cubes du projet de l'administration, et à fortiori les 60 000 mètres cubes jugés nécessaires pour les quartiers élevés de Paris.

Dans le projet de M. Rodier la première galerie à ouvrir serait celle qui, partant de la vallée sèche du Mont, se dirigerait jusque sous les sources de la Somme. On commencerait par ouvrir un canal d'écoulement pour rejeter provisoirement vers le bas de la vallée les eaux du drain à exécuter. Ce

premier drain, qu'on devrait conduire tantôt à droite, tantôt à gauche, suivant les sources qu'on aurait recoupées, aurait une longueur de 5000 mètres, si on jugeait utile de le construire en entier.

La seconde galerie à ouvrir serait dirigée à peu près horizontalement entre la Somme et la Vaure; elle aurait environ 2000 mètres et pourrait être attaquée par les deux extrémités; là encore on aurait le soin de se débarrasser des eaux par une issue provisoire dans chacune des deux vallées indiquées.

La troisième galerie à ouvrir mettrait en communication les vallées de la Somme et du Petit-Morin.

Enfin on continuerait ces sortes de travaux partout où besoin serait.

On recouperait par ces galeries un certain nombre de sources; et, si on ne pouvait les utiliser pour l'alimentation de Paris, par suite de l'insuffisance des eaux recueillies, sans soulever les appréhensions des riverains, on serait à même de rejeter dans la Somme, moyennant de faibles dépenses, les eaux du marais de Saint-Gond, et l'on pourrait transformer ainsi 5,000 hectares de terrains actuellement inondés.

Si, au contraire, les eaux trouvées étaient assez abondantes, on les recueillerait en ouvrant la série de galeries et de tranchées qui circonscrit le massif décrit, et dont le développement maximum ne saurait dépasser 70,000 mètres; puis on les dirigerait sur Paris par un aquéduc qui devrait suivre le flanc gauche de la vallée du Petit-Morin. A l'embouchure de ce ruisseau dans la Marne, cet ouvrage se rapprocherait de l'ancien tracé, mais il traverserait en tranchée, et non en souterrain, le contrefort situé entre La Ferté et Meaux. Il continuerait à longer l'aquéduc projeté par l'administration jusqu'au Grand-Morin; mais, à partir de ce point, au lieu de se diriger vers Belleville, il resterait sur le plateau de Lagny, avec une pente de 0,0001 par mètre, à trois kilomètres de Villiers-sur-Marne; et, à la cote 120 ou 125, il serait remplacé par une double conduite de 1^{m}.10 de diamètre, ayant 15,000 mètres de longueur, entrant à Paris à la barrière du Trône, avec une charge suffisante pour pouvoir donner l'eau à la cote 112 au minimum, soit à 29 mètres au-dessus des points que le projet de M. le Préfet peut desservir. En dehors de cet avantage, le projet de M. Rodier supprime un grand nombre des ouvrages d'art nécessaires dans le projet de la Ville, il diminue l'importance des ouvrages restant à construire, enfin il réduit de trente kilomètres la longueur de l'aquéduc. Enfin, M. Rodier admet que l'ensemble des aquéducs qu'il juge nécessaires pour donner l'eau à Paris devant renfermer un volume d'eau bien supérieur à celui qu'on peut recueillir dans les plus grands réservoirs, la Ville pourrait se dispenser d'élever ces constructions, tout en restant à l'abri d'une disette résultant de la rupture de l'artère unique projetée.

M. le Président remercie M. Richoux de sa communication.

M. Beaudemoulin, ingénieur en chef des ponts et chaussées en retraite, a bien voulu faire hommage à la société d'une note très-développée qu'il intitule :

Considérations sur les divers problèmes qui se rattachent à l'as-

sainissement et sur les mémoires ou projets présentés par M. le préfet de la Seine.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Beaudemoulin au nom de la Société, et il croit utile de donner lecture de la partie de cette note relative à la canalisation souterraine de la ville de Paris, sujet qui, à partir de 1853, a été l'objet d'études sérieuses et persistantes de la part de cet ingénieur éminemment compétent, attestées d'ailleurs par plusieurs publications.

Après avoir rappelé sommairement les faits, les données et les propositions énoncés dans ces publications antérieures, M. Beaudemoulin fait la critique des égouts à très-faible pente. Après avoir recherché et fait connaître la cause qu'il se croit fondé à assigner à l'inondation des caves dans certaines parties de la ville de Paris, en critiquant celle indiquée dans le mémoire préfectoral, l'auteur de la note décrit un moyen qui préviendrait toujours, selon lui, les inondations souterraines. Il pose ensuite les conditions d'un bon système d'égouts, en indiquant les moyens qu'il croit propres à opposer à la faiblesse des pentes générales.

M. BEAUDEMOULIN examine enfin la question des vidanges de la ville de Paris; critiquant la solution proposée par M. le préfet de la Seine, il explique comment le système de drainage qu'il a proposé et développé dans ses diverses publications pourrait seul, selon lui, satisfaire économiquement et à bref délai au décret du 26 mai 1852, en faisant disparaître trois choses qui sont, à ses yeux, trois plaies urgentes de notre époque, à savoir : le système actuel des vidanges, les ruisseaux boueux et infects qui sillonnent Paris, et le système actuel de distribution du gaz d'éclairage, dont il signale les désastreuses conséquences.

M. LE PRÉSIDENT regrette que la Société ne puisse pas publier *in extenso* le travail de M. Beaudemoulin, sans engager plus qu'il ne conviendrait ses opinions, sa responsabilité propre; il doit donc se borner à remercier sincèrement l'auteur de cette note si substantielle, que chacun des membres de la Société pourra lire et consulter avec fruit, en la rapprochant des publications antérieures dues à la haute compétence de cet honorable ingénieur.

SÉANCE DU 6 MAI 1859

Présidence de M. FAURE

M. E. BOURDON dépose sur le bureau la copie d'une lettre qu'il a adressée à M. Giffard, en réponse à celle de cet ingénieur, insérée au procès-verbal de la séance du 15 avril. M. Bourdon fait remarquer qu'il ne veut

pas provoquer une discussion de priorité à laquelle la Société pourrait vouloir rester étrangère; mais il a cru devoir prendre acte devant elle, en mettant à la disposition de chacun de ses membres un des éléments de cette discussion, afin qu'il restât constaté que M. Bourdon est très-loin de la vouloir décliner pour sa part.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Bourdon de la réserve qu'il a bien voulu mettre dans sa communication, parce qu'elle dispense la Société d'entrer plus avant dans une discussion qui, malgré un intérêt historique incontestable, serait certainement inopportune, en l'absence de l'un de ceux qu'elle intéresse directement.

M. VUIGNER donne de nouveaux détails sur l'état d'avancement des travaux de fondation du pont de Kehl.

Le 4 mai, le fonçage des caissons de la pile culée de la rive française était arrivé à une profondeur de 15m.05 au-dessous de l'étiage, et à 13m.36 en contrebas du fond du lit du fleuve; dans cette position, les chaînes des norias ont une longueur d'environ 25 mètres.

La profondeur de 15 mètres est celle indiquée comme minima dans la convention internationale; on pourrait donc s'y arrêter, et considérer le but qu'on s'était proposé comme complétement atteint.

L'opération a marché, jusqu'ici, avec une parfaite régularité; les déviations en plan des quatre caissons ont été presque insensibles d'un caisson à l'autre, et la descente verticale a été parfaitement uniforme, à raison de 0m.25 à 0m.30 par jour.

Il est probable que l'on descendra à une profondeur de 17 mètres, pour être à l'abri des affouillements, attendu que la dépense à faire à cet effet est assez faible et n'est pas, en conséquence, à considérer quand il s'agit d'assurer la conservation d'un ouvrage de cette importance.

Ainsi que M. Vuigner l'a indiqué déjà, on a coulé du béton, pendant le fonçage, dans les coffres en bois qui surmontent chaque caisson en tôle, de sorte que la fondation sera terminée lorsque les caissons seront descendus à la profondeur voulue.

Les caissons, de 5m.80 sur 7 mètres, sont munis d'armatures dans le sens transversal; il n'y a eu aucune déformation sur les faces protégées par ces armatures; mais, à la profondeur de 10 à 12 mètres, les parois de 5m.80 ont éprouvé, dans leur partie inférieure, un léger mouvement, qu'on a fait cesser facilement au moyen d'entretoises en bois.

En terminant, M. Vuigner dit qu'il considère le succès de l'opération comme définitivement assuré.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Vuigner de son intéressante communication. Il se rend l'interprète des sentiments de la Société en disant qu'elle reçoit avec la plus vive satisfaction la nouvelle d'un succès aussi complet.

Après la lecture d'une lettre de M. Maldant, accompagnant l'envoi d'un Mémoire sur un projet de docks pour la ville de Bordeaux, M. le Président donne la parole à M. Richoux, pour présenter l'analyse de la note de M. Mariotte, membre de la Société, sur la fabrication des tuyaux en plomb étamés intérieurement et extérieurement par le procédé de M. Sebille.

Digitized by Google

Les conduites d'eau en plomb sont sujettes à diverses sortes d'altérations qui peuvent affaiblir la résistance de leurs parois, et, dans certaines circonstances, donner lieu à des empoisonnements. C'est pour soustraire les tuyaux à ces causes d'altération que M. Sebille de Nantes, a cherché à obtenir manufacturièrement un étamage intime des parois du tuyau.

La fabrication des tuyaux étamés de M. Sebille se compose de deux opérations distinctes, quoique sensiblement simultanées, savoir : la fabrication des tuyaux, et l'étamage.

La première opération ne présente rien de spécial. Le plomb, amené à l'état de fusion pâteuse, est versé dans un cylindre en fonte parfaitement alésé, dont le fond inférieur est fermé par le piston d'une presse hydraulique, et dont le fond supérieur est formé par un croisillon à quatre branches portant à son centre une sorte de disque ou mandrin dont le diamètre est égal au diamètre intérieur du tuyau qu'on veut obtenir. Ce croisillon est recouvert par un anneau en métal, dont la partie évidée a exactement le diamètre extérieur du tuyau à évider.

L'ensemble de ces pièces laisse dans le fond supérieur du cylindre alésé un vide annulaire d'une épaisseur égale à celle du tuyau.

On comprend alors qu'en faisant agir le piston de la presse hydraulique au moment où le plomb atteint son point de solidification, le métal se trouve forcé de passer à travers les quatre orifices déterminés par le croisillon, et se soude à lui-même en traversant l'espace annulaire compris entre le mandrin central et l'anneau métallique.

Un foyer circulaire, entourant le cylindre en fonte qui contient le plomb, permet d'ailleurs de régler convenablement la température du métal.

A sa sortie de la presse, le tuyau s'infléchit sur une grande poulie, pour redescendre sur un banc incliné terminé par un tambour sur lequel il s'enroule. Une disposition simple permet d'indiquer sur le tuyau, à mesure qu'il glisse sur le banc, des longueurs métriques. Les marques ainsi obtenues servent à constater la production, et facilitent la division du tuyau en suivant les longueurs adoptées par le commerce.

Lorsque la capacité du réservoir à plomb ne suffit pas pour obtenir dans une seule opération la longueur du tuyau qu'on désire, on fait descendre le piston de la presse hydraulique, le plomb étant encore engagé dans la filière ; on remplit de nouveau le réservoir, et on recommence l'opération. Le métal en fusion ramollit suffisamment le tuyau engagé dans la filière pour que la soudure soit complète.

L'étamage est très-facile : car le plomb, fondant à 335°, et l'étain à 228°, il suffit de faire passer le tuyau dans un bain d'étain, pour qu'une couche de métal y reste adhérent ; mais on comprend qu'il faut avoir recours à des dispositions toutes particulières pour obtenir un récipient étanche contenant l'étain.

Le récipient qui contient le métal fondu destiné à l'étamage extérieur du tuyau est composé par une enveloppe en forme de tronc de cône évasé reposant sur l'anneau métallique formant la filière ; mais on n'y introduit l'étain qu'après que la presse a fait sortir une longueur de tuyau suffisante pour

clore complétement le trou de la filière et empêcher l'étain d'entrer dans l'intérieur du réservoir à plomb. Le récipient destiné à l'étamage intérieur du tuyau, et formé par le tuyau lui-même et l'étain, y est introduit par le mandrin fixé au centre du croisillon à travers lequel sort le plomb. A cet effet, ce mandrin porte extérieurement une rainure circulaire communiquant par une série d'orifices avec un évidement percé dans l'axe du mandrin. Cet évidement communique, à son tour, avec un canal qui traverse de part en part une des branches du croisillon porte-mandrin.

Des robinets placés à chacune des extrémités du croisillon permettent, soit de faire communiquer la chaudière contenant l'étain fondu avec le mandrin, soit de faire écouler dans un récipient *ad hoc* l'étain introduit dans le tuyau.

La chaudière est à un niveau supérieur à celui du mandrin, de telle sorte qu'en ouvrant l'un des robinets dont nous venons de parler le métal puisse s'introduire dans le tuyau. Le robinet n'est ouvert qu'après qu'on a fait une longueur de tuyau suffisante pour que son extrémité dépasse le niveau de l'étain contenu dans la chaudière.

Par suite de ces dispositions, il est facile de faire entrer l'étain autant de fois qu'on le veut dans la portion de tuyau qu'on vient de former, et par conséquent il est facile de faire varier l'épaisseur de la couche de métal déposée.

Pour les tuyaux d'un petit diamètre, on obvie au refroidissement de l'étain en plaçant sur le mandrin, dont la température est toujours bien plus élevée que le point de fusion de l'étain, un cylindre métallique qui en prend insensiblement la température.

Pour égaliser la couche d'étain déposée à l'intérieur du tuyau, c'est-à-dire pour faire retomber les gouttelettes de métal qui pourront être entraînées, le cylindre métallique dont nous venons de parler porte une tige métallique terminée par une boule d'un diamètre légèrement inférieur à celui du tuyau.

Dans cette méthode d'étamage, le plomb étant mis en contact avec l'étain à une température au moins égale à celle du moule de fusion de ce dernier, les pores en sont imbibés et les fissures imperceptibles qui peuvent se produire accidentellement sont pénétrées complètement.

L'étamage est tellement intime, qu'il n'est pas possible d'apprécier la ligne de démarcation des deux métaux.

Les tuyaux ainsi préparés acquièrent une telle rigidité qu'on peut réduire leur poids de 10 p. 0/0 sans nuire à leur solidité, et cette réduction de poids a permis à M. Sebille de fournir au même prix les tuyaux étamés à épaisseur réduite et les tuyaux ordinaires, à résistance égale.

M. Alcan fait remarquer que, dans la communication qui vient d'être faite, il n'y a pas de renseignements sur la durée des tuyaux en plomb étamés; il importerait selon lui, d'être fixé à cet égard, parce qu'il pense que ces tuyaux peuvent être exposés à une destruction rapide par l'action galvanique résultant du contact de deux métaux inégalement oxydables.

M. Laurens est du même avis que M. Alcan; il indique que le zincage

ou le plombage rend les tuyaux en tôle plus mauvais; dans tous les points où l'oxydation de ces tuyaux commence, elle se propage très-rapidement.

M. Faure dit qu'à côté de la question de durée, dont il ne méconnaît pas l'importance, on ne doit pas oublier qu'au point de vue de l'hygiène et des applications à la distribution d'eau dans l'intérieur des habitations, l'étamage des tuyaux en plomb lui semble un perfectionnement très-utile. Il n'y aurait pas à mettre en balance avec les avantages qui en résultent la faible augmentation de 5 à 6 francs par 100 kil. sur le prix de revient des tuyaux, si d'ailleurs cette augmentation ne devait être compensée, ainsi que l'indique M. Mariotte, par une réduction d'épaisseur motivée sur la plus grande résistance des tuyaux après l'étamage.

M. Richoux, en réponse à une question de M. Faure, dit que le mode d'étirage des tuyaux en plomb à la presse hydraulique n'est effectivement pas nouveau; quant à l'étamage, on trouve dans les brevets anglais la description d'un procédé d'étamage intérieur assez analogue à celui qui vient d'être décrit.

M. Alcan est d'accord avec M. Faure sur l'intérêt que présenterait le résultat que M. Sebille cherche à obtenir; mais si l'idée a déjà été abandonnée une première fois, il serait intéressant de connaître les causes de cet abandon, au nombre desquelles il croit pouvoir ranger, jusqu'à plus ample information, celle qu'il indiquait précédemment.

M. Laurens ne croit pas qu'on puisse comparer l'effet galvanique qui pourrait se produire sur les tuyaux en plomb étamés à celui que présentent les tuyaux en tôle plombés ou zingués; les sels qui tendent à se former dans le premier cas n'étant pas solubles, l'action doit être beaucoup plus lente.

M. Deligny appuie l'opinion émise par M. Laurens.

M. le Président remercie M. Mariotte de son intéressante communication, et M. Richoux de l'analyse qu'il vient d'en présenter; il indique que des renseignements seront demandés à M. Mariotte au sujet de la question de durée soulevée par M. Alcan. Il ajoute que l'examen des procédés de M. Sebille lui a semblé pouvoir se rattacher à la question de distribution d'eau qui est à l'ordre du jour; c'est dans cette pensée qu'il a demandé à M. Richoux de vouloir bien exposer le mode de fabrication et d'étamage décrit dans la note de M. Mariotte.

Au sujet de la question des *eaux de Paris* et de la note lue à la dernière séance, M. Laurens, n'ayant pas assisté à cette réunion, présente dans celle-ci diverses observations sur quelques-uns des points traités dans cette communication.

Revenant également sur la note qui a donné lieu aux observations de M. Laurens, M. Faure remarque que l'auteur de cette note semble avoir cédé à une exagération non motivée dans sa critique touchant la valeur de l'eau de Seine. Il n'est pas permis d'oublier que l'analyse hydrotimétrique, que l'analyse chimique faite au milligramme par litre, d'après M. le Préfet lui-même, *classent les eaux de Seine*, prises en amont du pont d'Ivry, *sur le pied de l'ÉGALITÉ PARFAITE*, *relativement aux eaux de*

la dérivation projetée, en admettant que celles-ci dussent conserver leur pureté primitive après un parcours de 183 kilom. en aquéducs maçonnés ou métalliques, ce qui est plus que contestable. Il semble peu logique, enfin, et peu équitable de devancer les siècles pour prévoir le jour, qui arrivera Dieu sait quand, où ce bon et noble fleuve serait transformé en un étang à eaux stagnantes. Les barrages projetés, en haute Seine, *quand ils seront exécutés,* ne sauraient créer des eaux stagnantes; la Seine n'en débitera pas moins 75 mètres cubes par seconde en étiage, et la vitesse du courant pourra être bien diminuée avant que les eaux du fleuve arrivent à l'état de stagnation, qui seul autoriserait les craintes émises par l'auteur de la note. M. Faure pense donc qu'il convient d'écarter du débat une fantasmagorie d'avenir plus qu'éloigné, et il pense qu'il y a lieu de s'en tenir, en ce qui touche la question de *pureté,* de *composition chimique* et de *sapidité* des eaux de la Seine, aux termes même du Mémoire préfectoral. Aussi croit-il bon de les rappeler, puisque l'auteur de la note semble les avoir trop oubliés : « Le goût des populations ne s'y trompe guère..... L'eau de la Seine, « dont le degré moyen est de 17 ou 18°, au pont d'Ivry, jouit d'une juste « célébrité, etc. »

M. Faure ne saurait laisser sans réponse les critiques adressées dans ladite note aux évaluations qu'il a présentées pour le filtrage et l'élévation des eaux de Seine par machine.

Au sujet du chiffre de 4 millions pour les bassins de filtrage, on dit « qu'un chiffre aussi faible a besoin de justification. » M. Faure était allé au devant de cette objection en indiquant que le chiffre de 4 millions était le double, proportionnellement, de ce qu'on a dépensé en Angleterre pour l'établissement de bassins de filtration d'un volume d'eau égal quotidiennement.

On a fait aussi une énumération des forces vives absorbées dans la transmission du travail des machines appliquées aux pompes, dans le passage de l'eau à travers les clapets, etc., et l'on a admis une conclusion, ou mieux une hypothèse que rien ne justifie, savoir : qu'il faut compter du simple au double quand on veut évaluer et comparer le travail dépensé et le travail utilisé dans l'emploi des pompes commandées par une transmission. M. Faure aurait cru commettre une exagération regrettable en accordant un aussi faible rendement à des appareils qu'il est permis de supposer bien conçus, bien étudiés, bien montés, bien conduits; il croit fermement avoir fait aux diverses résistances inhérentes une part suffisante, voir même large, en admettant pour 800 chevaux de travail utile, en eau élevée, une dépense de combustible basée sur 1200 chevaux livrés à l'arbre du volant des machines motrices.

Enfin M. Faure tient à rappeler qu'en portant de 30 à 45 millions le chiffre des dépenses relatives à la création de la dérivation projetée il n plus que *notablement amoindri* un chiffre indiqué ici même, par un homme dont la haute compétence, dont l'expérience consommée, ne sauraient être déclinées; il veut remarquer encore que l'auteur de la note, en reconnaissant les difficultés grandes de l'établissement de l'aquéduc projeté, eu égard à la nature plastique du sol qui doit le recevoir, a bien dit : « fiez-vous aux

ingénieurs pour les savoir vaincre, » mais qu'il a oublié de dire à quel prix on aurait raison de ces difficultés non prévues.

M. Laurens ajoute qu'il ne partage pas l'avis de l'auteur de la note quand il dit qu'on ne peut pas attaquer un devis qui est le résultat de plusieurs années d'étude. D'abord, on ne pourrait peut-être pas citer un seul devis de travaux publics dont les évaluations n'aient été dépassées dans de larges proportions. Pour ne citer qu'un chapitre des dépenses portées au devis de la dérivation de la Somme-Soude, il est frappé du chiffre de 18 millions pour un aquéduc de 183 kilom., et il ne saurait admettre qu'un tel ouvrage puisse être exécuté pour 100 francs le mètre courant, y compris les arcades, les syphons, les regards, les prises d'eau, les drainages, etc.

M. Faure fait observer qu'il n'y a pas de contradictions, comme le suppose l'auteur de la note, entre les éloges très-sincères, très-mérités, qu'il a voulu donner, pour sa part, au Mémoire de M. le Préfet, et la critique de la solution adoptée et proposée par l'auteur du Mémoire. Les éloges s'adressent aux belles études, aux recherches hydrologiques si remarquables qui ont servi de base au projet ; la critique, à la solution adoptée, au parti pris, *à priori*, de condamner les machines sans les avoir voulu discuter.

M. E. Barrault lit une note sur un nouveau procédé de fusion de l'acier et de fabrication des aciers fondus par réaction.

Jusqu'ici la fusion des aciers, dit M. Barrault, a toujours été opérée dans des creusets d'assez faibles dimensions, qui ne peuvent servir qu'un petit nombre de fois, sont d'une fabrication coûteuse, exigent pour leur maniement un personnel considérable, et occasionnent une forte dépense de combustible, d'autant plus que le coke de choix est, jusqu'ici, le seul combustible dont l'emploi permette une marche régulière et assurée de l'opération. On emploie les mêmes procédés pour la fabrication des aciers fondus, par réaction d'un mélange de fonte pulvérisée et de minerai riche, ou de fonte et de tournure de fer. La cherté de la fusion au moyen des creusets ne permet pas à cette fabrication de recevoir l'extension qu'elle recevrait, si elle pouvait s'opérer dans des conditions plus économiques. De plus, la fusion au creuset ne permet pas de suivre l'opération, d'en modifier les dosages, d'opérer des brassages qui assurent l'homogénéité des matières fondues.

Le procédé breveté dont nous venons entretenir la Société parait remédier à tous ces inconvénients et devoir amener une révolution dans ce genre de fabrication. La fusion de l'acier, ou des matières destinées à le produire, s'opère sur la sole d'un four à reverbère d'une disposition particulière. Le métal est complètement protégé contre l'action de la flamme par une couche de scories en fusion. Ces scories appartiennent à la classe des silicates terreux neutres ou basiques à bases multiples, et sont composées de matières qui se trouvent partout et à vil prix. La sole du four, qui a la forme d'une cuvette peu profonde, limitée à sa partie supérieure par des lignes horizontales, doit être formée, soit d'argile réfractaire de la meilleure qualité, bien damée et cuite par la flamme du four jusqu'à ramollissement superficiel, soit d'un bloc de grès réfractaire taillé. Ses pentes aboutissent à un

trou de coulée placé au voisinage de l'autel, et qui débouche à l'extérieur dans une espèce de niche disposée de manière à réduire la longueur du canal de coulée. La voûte est très-surbaissée, et ne laisse pas pour le passage de la flamme plus de 20 à 25 centimètres d'espace au-dessus du bain liquide. La sole doit toujours être pleine pour conserver la chaleur autant que possible. Néanmoins, quand on dispose de grès réfractaires d'excellente qualité, comme certains grès anglais, on peut disposer sous la sole un large carneau par lequel on fait passer la flamme s'échappant du rampant, ce qui réchauffe la sole par dessous et procure une notable économie de combustible.

Le rapport de la grille à la sole est à peu près celui que l'on a adopté pour les fours à réchauffer. Les fours peuvent être à tirage naturel, ou alimentés par des ventilateurs, qui y lancent soit de l'air froid, soit de l'air chauffé à 300 degrés. L'emploi de l'air chaud permet d'employer des combustibles de qualité médiocre et procure toujours une économie.

Dans tous les cas, les flammes perdues sont utilisées pour échauffer préalablement les matières métalliques, placées dans un grand mouffle à l'abri du courant de gaz incandescent, et les scories pulvérisées placées sur une aire convenablement disposée.

On peut charger les matières métalliques, préalablement chauffées au rouge vif, dans le bain de scories en fusion, ou charger d'abord le métal échauffé sur le sole et le recouvrir d'une couche de scories pulvérulentes, également chaudes. Celles-ci fondent au premier coup de feu et protègent le métal plus complètement que les parois d'un creuset.

Un four dont la sole à deux mètres carrés de surface peut fondre de 500 à 1,000 kil. d'acier à la fois. L'opération dure de trois à cinq heures, et s'accomplit parfaitement, quoique les substances métalliques n'aient aucun contact immédiat avec la flamme. On peut brasser l'acier fondu avec des ringards de très-bon fer, pousser les morceanx non fondus vers l'autel pour en accélérer la fusion, prendre des essais au moyen d'une cuiller d'argile refractaire préalablement échauffée au blanc, que l'on enfonce dans le bain. Quand la fusion est complète, on perce le trou de coulée, et on coule dans des lingotières de fonte ou dans des moules en sable étuvé, avec les précautions ordinaires. On laisse écouler les scories, on répare la sole s'il y a lieu, on bouche soigneusement le trou de coulée, et l'on recommence une nouvelle opération.

D'après les résultats obtenus dans des fours à tirage naturel, les seuls qui aient été expérimentés jusqu'ici, la consommation de combustible ne paraît pas excéder trois parties de houille pour une partie d'acier fondu, et l'on espère qu'elle pourra être notablement réduite. Les soles en argiles réfractaires résistent très-bien et paraissent devoir durer longtemps. Enfin, la voûte des fours n'est nullement altérée, car la température nécessaire pour la fusion de l'acier n'est que faiblement supérieure à celle du réchauffage du fer.

L'emploi de ce procédé, qui a été expérimenté avec un succès complet pour la fusion des riblons d'acier, permettra de réduire de 50 p. cent environ les frais de fusion de l'acier; il donne la faculté de couler d'un seul jet

et avec une parfaite homogénéité des pièces d'acier d'un poids énorme, opération très-coûteuse, très-difficile et chanceuse avec l'emploi des creusets. Il y a donc tout lieu d'espérer que ce nouveau procédé, qui, dans la pratique recevra probablement encore de nouveaux perfectionnements de détail, est appelé à un grand avenir.

M. BARRAULT fait observer qu'on avait à vaincre des difficultés pratiques dans l'établissement même du four. Les grandes pièces d'acier fondu préparées par M. Krupp sont coulées au moyen de creusets, ce qui entraîne dans de grandes dépenses. On avait à se demander, avant l'expérience du nouveau mode de fabrication, si on pourrait construire un four à réverbère résistant à l'action du feu violent nécessaire pour la fusion et la réaction des matières; on y est arrivé par la disposition de la sole du four et le choix des scories.

M. FAURE pense que les scories doivent avoir une certaine influence sur la production de l'acier fondu, sur sa composition, surtout au moment du brassage; il serait utile de pouvoir apprécier cette influence.

En réponse à une question de M. Laurens, M. Barrault indique que le nouveau système de fusion ne présente peut-être pas de supériorité sur l'emploi des petits creusets, comme consommation de combustible, mais que, même à consommation égale, l'avantage de pouvoir fondre à la fois de grandes masses d'acier mérite une sérieuse considération.

M. BRULL a assisté aux expériences qui ont été faites aux ateliers du chemin de fer du Nord. Dans son opinion, l'essai a peu réussi; le métal paraissait dénaturé, et le four a été fortement endommagé. Un second essai a porté sur la fabrication de l'acier au moyen de riblons et de minerais, et on n'a pas obtenu d'acier.

M. BARRAULT répond que ces essais ont été renouvelés et ont produit de bons résultats; il déposera des échantillons pour être soumis à l'examen des membres de la Société.

M. LIMET indique qu'il a suivi avec intérêt toutes les tentatives qui ont été faites jusqu'à ce jour pour obtenir de l'acier fondu de toutes pièces aussi homogène que celui qui provient de l'acier de cémentation, et qu'il s'est livré lui-même à des recherches de ce genre; or il n'a pas encore obtenu des résultats satisfaisants d'une manière définie et uniforme. Relativement à la fusion dans un four à réverbère, toute la question consiste à savoir quelle sera la durée du four.

M. LE PRÉSIDENT exprime à ce sujet le désir que M. Limet veuille bien communiquer à la Société quelques-uns des remarquables travaux qu'il poursuit avec persévérance et succès, soit sur la fabrication des aciers, soit sur tout ce qui se rapporte à divers emplois industriels de l'acier.

SÉANCE DU 20 MAI 1859

Présidence de M. Faure.

En déposant sur le bureau un exemplaire du Bulletin du 1er trimestre de 1859, M. le Président rappelle que ce résultat d'exactitude est dû aux efforts et à l'activité de MM. Callon et E. Flachat, qui ont su combler un arriéré regrettable. Mais pour que nos publications trimestrielles puissent se maintenir au niveau d'actualité qui vient d'être atteint, le bon vouloir et le dévouement de celui qui est à ce fauteuil ne sauraient suffire. Il doit donc lui être permis de faire aujourd'hui un appel sérieux au concours des membres de la Société.

L'ordre du jour appelle une communication de M. F. Coignet, sur l'emploi des *Bétons agglomérés*.

M. Coignet s'exprime ainsi : A plusieurs reprises j'ai déjà eu l'honneur d'entretenir la Société des Ingénieurs civils des travaux de construction que j'ai accomplis au moyen des bétons agglomérés à base de chaux, moulés sur le mur même, et formant des maçonneries à l'état monolithe, quelles que soient, du reste, leur destination, leur forme, leur capacité, leur masse, tant grande soit elle, et quel que soit le lieu où elles aient été élevées, au-dessous comme au-dessus de la surface du sol.

Je viens aujourd'hui vous rendre compte des nouvelles applications que j'ai faites de ce genre de construction, des résultats importants que j'ai obtenus, des perfectionnements que j'ai apportés dans l'emploi des bétons agglomérés à base de chaux, et des expériences intéressantes qui ont été faites dernièrement.

Mais avant d'aborder le détail de ces travaux, je crois utile de vous rappeler en peu de mots le principe qui m'a guidé dans mes essais, et les phases diverses que son application a subies.

De tout temps les constructeurs ont poursuivi l'idée de la construction monolithe au moyen de bétons et de mortiers. La rareté des matériaux naturels, leur prix élevé, les difficultés de transport et d'édification, l'absence ordinaire d'homogénéité dans l'ensemble des maçonneries depuis l'origine des temps, a poussé les hommes de l'art à rechercher la composition d'une pâte à base de chaux pouvant se mouler sur place en acquérant la dureté de la pierre ordinaire.

L'antiquité la plus reculée témoigne des efforts faits en ce sens, et des succès déjà obtenus. L'Orient présente des spécimens d'une masse considérable. Les Romains en ont fait grand usage, le moyen-âge en a laissé des vestiges; mais c'est de nos jours surtout que les tentatives se sont multipliées, et que peu à peu le problème est arrivé à complète solution.

Déjà depuis longtemps il est d'usage à Lyon de construire des maisons au moyen d'un béton de chaux et de cendres de houille moulé sur le mur même; on édifie également en Suède des maisons moulées de la même manière. En 1832, M. Lebrun, architecte à Moissac, avait, de son côté, moulé une maison entière, et tenté de construire une église voûtée.

Toutes ces tentatives, plus ou moins suivies de succès, indiquent une tendance générale vers l'emploi des bétons moulés; mais jusqu'à ce moment les bétons à base de chaux employés dans ces essais, et coulés dans des moules d'après les procédés ordinaires, tout en conservant à l'abri une certaine solidité, sont demeurés incapables de résister aux gelées et aux intempéries, lorsqu'ils y ont été directement exposés.

La question de la résistance aux intempéries, en ce qui concerne les bétons à base de chaux, était donc demeurée sans solution régulière et pratique jusqu'à ce jour, d'autant plus que les bétons à base de chaux coulés dans des moules donnent lieu à des retraits considérables qui compromettent le sort des maçonneries.

Par suite de déceptions multipliées, les tentatives d'emploi des bétons à base de chaux comme moyen d'élever des constructions au-dessus de la surface du sol et exposées aux intempéries ont été généralement abandonnées, et tous les efforts se sont portés vers l'emploi des ciments, dont la dureté apparente et la prise rapide ont paru donner des résultats plus satisfaisants.

Malheureusement l'emploi des ciments est très-coûteux et fort difficile, et exige le concours d'ouvriers spéciaux que l'on ne trouve pas toujours : aussi rien n'est plus fréquent que la prompte destruction des maçonneries de ciment qui, au début, avaient donné les meilleures espérances, alors même que ces maçonneries avaient été construites au-dessous de la surface du sol, au contact de l'eau et à l'abri de toutes les intempéries. A plus forte raison, le mal est-il plus fréquent et plus irréparable lorsqu'il s'est agi de constructions élevées à la surface du sol et exposées aux alternances des gelées et des chaleurs, du sec et de l'humide; sous cette influence le ciment subit des retraits, il se désagrége, sauf de rares exceptions.

Ces inconvénients ont été si multipliés, que, de guerre lasse, les praticiens ont abandonné l'emploi à l'air des bétons de ciments, de même qu'ils avaient abandonné ceux à base de chaux.

En effet, sauf quelques spécimens d'une importance insignifiante, on ne rencontre nulle part des maçonneries monolithes composées de bétons à base de chaux ou de ciment, exposées directement, sans abri, sans parements, aux intempéries.

Depuis plusieurs années mes travaux ont eu pour but de prouver, de démontrer que des bétons à base de chaux, et même de chaux de la plus médiocre qualité, pouvaient être composés, préparés et employés de manière à donner une maçonnerie beaucoup plus économique que toute autre, et capable de résister à l'air, à toutes les causes de destruction. Ce résultat aujourd'hui est complétement atteint.

En effet, avec toutes les chaux, tous les sables siliceux quelconques, je

puis à volonté, d'une manière certaine et régulière, obtenir en tous lieux une maçonnerie dure, dense, compacte, imperméable; en un mot les bétons à base de chaux convenablement préparés constituent une véritable pâte de pierre, acquérant avec rapidité une dureté considérable, qui va croissant toujours avec le temps, pâte de pierre infiniment économique, capable de recevoir par le moulage toutes les formes voulues, et qui, par la faculté de pouvoir être sans limite augmentée de volume, permet de construire à l'état monolithe toute espèce de construction, tant grande soit-elle.

Ce résultat, je l'attribue tout entier à l'application systématique du *principe de l'agglomération*.

Jusqu'à ce jour et sans exception, les bétons ont été coulés et non agglomérés; ils ont été constamment employés à l'état de pâte molle, de bouillie plus ou moins liquide, destinée à se durcir à la longue dans des moules ou sur le sol par la simple prise moléculaire de la chaux. A cet état de pâte molle, les bétons à base de chaux ou de ciment contiennent *un excès d'eau* qui éloigne les molécules de la chaux et arrête la rapidité de la prise.

Mais ce qui est plus grave encore, l'excès d'eau s'oppose physiquement à l'agglomération. Si, en effet, l'on cherche à massiver les bétons ordinaires au moyen du pilonage, le béton trop mou glisse sous le choc du pilon : il ne se serre pas, il se déplace, et bientôt l'eau en excès se sépare de ce béton; elle remplit tous les vides, elle surnage le béton, de telle sorte que le pilon n'agit plus que sur une masse liquide incompressible; de telle sorte que des maçonneries ainsi obtenues au moyen de bétons trop mous et chargés d'un excès d'eau ne présentent plus, lorsque cette eau est évaporée, qu'un béton léger, poreux, spongieux, absorbant, gélif et friable, soit parce que la présence d'un excès d'eau a empêché la prise de la chaux, soit parce que cet excès d'eau, en s'évaporant, a laissé une quantité considérable de vides donnant accès facile à toutes les causes de destruction.

C'est en vain que le constructeur fait appel aux matériaux de la meilleure qualité, c'est en vain qu'il augmente la quantité de chaux employée, en vain qu'il a recours à la science chimique, le résultat est toujours le même.

Tout béton coulé et exposé à l'air est un béton spongieux et gélif, voué à une prompte destruction.

Mais si, au lieu de couler les bétons, on les obtient à l'état de pâte pulvérulente assez ferme pour que le béton pilonné ne fuie plus sous le choc du pilon : alors, par l'agglomération obtenue par le choc répété d'un corps dur et pesant, les molécules de ce béton se tassent, se serrent, se feutrent, de manière à occuper un volume beaucoup moins considérable; les molécules de la chaux se rapprochent, la prise est beaucoup plus rapide et beaucoup plus intense, et finalement l'on obtient des bétons lourds, compacts, denses, imperméables et capables de résister à bref délai à toutes les intempéries, même aux plus rudes gelées.

Ce résultat est d'autant plus important qu'il est obtenu en même temps que l'on réalise une plus grande économie : car, pour que l'agglomération devienne possible, il est nécessaire de réduire la quantité de chaux à un

strict minimum, la présence d'un excès de chaux donnant au béton une mobilité, une mollesse qui le fait glisser sous le pilon et empêche l'agglomération.

En procédant ainsi que je viens de l'indiquer, j'ai pu obtenir à très-bas prix, avec tous les sables, toutes les chaux, des bétons, des pâtes de pierre, auxquelles j'ai pu donner toutes les formes imaginables, et qui présentent toutes les conditions possibles, la résistance à toutes les causes de destruction.

L'effet de l'agglomération est tel, que telle chaux qui, par les procédés ordinaires, ne donnerait que du béton de médiocre qualité, exigeant, pour arriver à une prise passable, des semaines et des mois, donnera, par le fait de l'agglomération, du béton dur comme de bonnes pierres, en quelques jours, souvent en quelques heures; à ce point que, en cas de besoin, et lorsque la saison menace, je puis à volonté obtenir de la maçonnerie qui, en vingt-quatre heures, est assez dense et dure pour braver les plus fortes gelées; j'ai fait, cette année, les expériences les plus concluantes à cet égard.

Après cet exposé de la théorie qui a guidé mes travaux, je vais vous entretenir des applications pratiques que j'ai faites avec succès de ce mode de bâtir.

Déjà, il a deux ans, je vous ai parlé de la maison du chef de la station de Suresnes (chemin de fer de Versailles). Cette maison m'avait été commandée par M. E. Flachat, votre collègue, si justement renommé, qui, le premier, a reconnu la justesse de la théorie de l'agglomération appliquée à l'emploi des bétons à base de chaux, et en a fait l'expérimentation en grand. Cette maison, tout entière construite en béton aggloméré, constitue un tout monolithe du faîte à la base : cave, voûte, dallages, murs, planchers, toiture en forme de dôme, corniches, moulures, sont en béton aggloméré, sans adjonctions d'aucuns autres matériaux.

L'extérieur de cette maison a toute l'apparence de la pierre de taille; mais, ce qui rend cette construction remarquable, c'est que les planchers sont en béton, et forment un monolithe avec la maison, en même temps que la toiture est aussi un dôme en béton aggloméré, se présentant sans aucun abri, sans enduits d'aucune sorte, à toutes les intempéries, qu'il brave depuis quatre ans, sans aucun symptôme de détérioration ; les chénaux eux-mêmes sont en béton.

Cette maison est le premier spécimen de ce genre qui ait jamais été construit, et, à ce titre, elle mérite toute l'attention des hommes de l'art.

Depuis deux ans, j'ai construit une foule de dallages et de trottoirs ayant une résistance bien supérieure à celle de l'asphalte : j'ai construit aussi des citernes, des maisons, et, entre autres, à Saint-Denis, route des Poissonniers, une maison analogue à celle de Suresnes, c'est-à-dire avec planchers et dômes en béton, mais sur une plus grande dimension. Le dôme qui recouvre cette maison a quatorze mètres de longueur sur huit de largeur. L'épaisseur des parois de ce dôme est de $0^{m}.40$ à la base, sur $0^{m}.25$ à la clé. Trois hivers n'ont amené aucune détérioration.

J'ai également poursuivi avec ardeur l'application des bétons agglomérés,

à la construction des toitures en terrasse, et j'ai enfin obtenu le succès le plus complet et le plus décisif.

J'ai pu, cette même année, construire une toiture en terrasse ayant 0m.30 d'épaisseur, et couvrant un bâtiment de vingt-deux mètres de longueur sur quinze mètres de largeur, soit une surface totale de trois cent-trente mètres carrés. Cette toiture, cette dalle de trois cent-trente mètres, n'est supportée, dans son milieu, que par un seul mur de refend dans le sens longitudinal, de telle sorte que, dans œuvre, cette dalle a une partie de sept mètres sur vingt-deux sans point d'appui et sans voûtes, la surface de cette toiture en terrasse étant horizontale par-dessus et par-dessous. Ce toit en terrasse sert lui-même de séchoir à l'air libre.

Chaque jour je construis des terrasses nouvelles qui sont parfaitement imperméables, et résistent à merveille à toutes les intempéries. Il en est de même des planchers, d'après le même système, qui établissent le monolithisme, l'unité dans un bâtiment tout entier, en même temps qu'ils assurent l'incombustibilité. A la suite de ces travaux, un ingénieur très-connu, M. Bassompierre, ayant à donner l'étanchéité au lac du bois de Vincennes, pensa que les bétons agglomérés d'après mes procédés pouvaient donner un résultat parfait, tout en présentant une très-grande économie sur les procédés ordinaires.

Cet ingénieur obtint de S. M. l'Empereur l'autorisation de faire cet essai, et le succès a répondu à son espoir : la partie qui a été garnie de béton aggloméré est devenue absolument étanche, et a résisté à merveille aux gelées, en même temps que son prix de revient est demeuré très-inférieur.

A la suite de cette expérience, examinée par S. M. l'Empereur, il fut ordonné qu'une maison de garde serait construite, sur les mêmes lieux, en béton aggloméré. J'ai construit cette maison en me conformant aux plans et devis qui m'ont été donnés. Cette maison est tout entière en béton aggloméré, murs, caves, planchers et toitures. Les toitures sont en terrasse, et sont recouvertes de fleurs. Le tout a parfaitement résisté aux intempéries. La construction de cette maison à Vincennes éveilla l'attention de S. M., qui, de sa personne, est montée jusque sur les toits, et a examiné tout dans le plus grand détail.

C'est à la suite de cet examen que S. M. l'Empereur a conçu la pensée de faire l'application de ce procédé dans l'emploi des bétons à la mer.

Un crédit m'a été ouvert, des essais ont été entrepris à Saint-Jean-de-Luz, où ils n'attendent plus que la consécration du temps.

M. Coignet donne des détails étendus sur ces essais, sur les espérances qu'ils permettent de concevoir, en même temps qu'il offre à la Société un exemplaire du rapport adressé à l'Empereur à la suite des travaux d'expérimentation entrepris à Saint-Jean-de-Luz sur la digue du Socoa. Ces essais ont eu pour but de reconnaître si des bétons à base de chaux, non résistants à la mer lorsqu'ils sont obtenus par les procédés ordinaires, ne pourraient pas recevoir d'un nouveau mode de préparation, de composition, et surtout par l'agglomération, la propriété de résister à l'action dissolvante de l'eau de mer.

Il fait connaître ensuite les essais qu'il a pu entreprendre et qu'il poursuit en ce moment à l'école des Ponts et Chaussées, dans sa succursale du quai de Billy, avec le concours bienveillant et sous les auspices de M. Hervé-Mangon. M. Coignet indique les dimensions et les détails essentiels de ces intéressants travaux, qui consistent en :

1° Un réservoir ou tour monolithe, dont la hauteur dépasse 5 mètres, avec un diamètre intérieur de 1 m. 25, sur une épaisseur de paroi de 0 m. 375;

2° Une arche de pont de 15 mètres d'ouverture, avec flèche au dixième, et une épaisseur à la clé de 0 m. 80;

3° Un aquéduc avec section intérieure de 0 m. 40 et des parois de 0 m. 20.

4° Un dallage pour passage de voitures et une bordure de trottoir.

Enfin M. Coignet présente des échantillons de pavés hexagones qui ont été soumis à une compression des plus énergiques au moyen d'une presse hydraulique; il a obtenu ainsi une réduction du huitième environ sur le volume lorsqu'on le compare à celui obtenu par les moyens ordinaires.

M. le Président demande que M. Coignet veuille bien insister sur les effets d'agglomération.

Ils sont obtenus, dit M. Coignet, par une série de tours de main auxquels il a été conduit par l'expérience, et ils dépendent de l'état pulvérulent des matériaux, de leur mélange intime et préalable, de proportions exactes, d'une réserve extrême dans les quantités d'eau employées, et surtout de petits chocs réitérés opérés sur de petites masses additionnées successivement.

Sur une question touchant l'état intérieur des blocs préparés par M. Coignet, comparé à la dûreté évidente des surfaces extérieures, M. Coignet répond que la dûreté s'accroît et se propage avec le temps de la circonférence au centre de la masse.

M. Faure, frappé des considérations qui viennent d'être exposées touchant l'influence des proportions d'eau employées dans la préparation des bétons, pense qu'il peut être utile, pour confirmer les faits et les principes énoncés par M. Coignet, de faire connaître en substance à la Société un procédé de moulage du plâtre exposé à la Société d'Encouragement, il y a deux ans environ, par un architecte italien, M. Abbate.

Partant de ce point de vue, que l'eau en excès dans la préparation du plâtre est l'obstacle à son durcissement intime, M. Abbate s'est proposé de n'admettre dans cette préparation que la proportion d'eau nécessaire à l'*hydratisation* de cette substance. Pour parvenir à ce résultat, il emploie du plâtre anhydre et pulvérulent, qu'il place dans un appareil à force centrifuge, en le soumettant à l'action d'un courant de vapeur. La vapeur d'eau pénètre la masse intimement, sans lui faire perdre son état de pulvérulence; la quantité de vapeur injectée est d'ailleurs calculée et réglée pour ne pas dépasser l'équivalent d'eau qui répond à l'hydratisation de la quantité de plâtre employée. Ainsi pénétrée de la quantité d'eau nécessaire et suffisante introduite à l'état naissant, la matière, pulvérulente encore, est sou-

mise à l'action d'une presse hydraulique, et le bloc moulé prend l'apparence du marbre. M. Abbate avait présenté quelques échantillons vraiment remarquables.

M. Coignet s'empresse de reconnaître l'analogie très-réelle signalée par M. Faure entre l'idée première ou le principe des essais de M. Abbate et ses propres travaux sur l'agglomération. Il sait que ce dernier poursuit ses expériences et ses remarquables essais.

M. le Président invite M. Coignet à signaler les différences qui peuvent exister entre l'action du bi-phosphate de chaux et celle du silicate de potasse ou verre soluble, afin que la Société puisse apprécier les différences entre l'emploi du premier, propre à M. Coignet, et les remarquables travaux de M. Kulmann sur la silicatisation.

M. Coignet donne, à cet égard, des explications théoriques assez étendues. Il en paraît résulter que les procédés de silicatisation employés par M. Kulmann produiraient seulement un durcissement superficiel; au contraire, l'emploi du bi-phosphate de chaux donne lieu à un durcissement intime, qui doit se propager de la circonférence au centre de la masse. Toutefois, il faut reconnaître que l'action du bi-phosphate de chaux donne lieu dans les premiers temps à une teinte brune, en favorisant le développement des conferves; mais cette teinte disparaît au bout d'un certain temps.

M. le Président remercie M. Coignet de sa très-intéressante communication, en le priant de faire connaître ultérieurement à la Société les résultats des expériences qui se poursuivent en ce moment au quai de Billy.

M. le Président donne ensuite lecture de la note suivante, qui a été adressée à la Société par un de ses membres, empêché d'assister à la séance :

Les rapports administratifs, comme celui que M. le Préfet de la Seine a livré à la publicité et qui traitent de questions dans lesquelles de très-vastes intérêts sont engagés, sont généralement écrits dans un langage empreint d'infiniment de prudence et de réserve, comme il convient à une grande administration. Cela donne sans doute à la discussiou beaucoup de calme et d'impartialité, mais cela ne devrait pas aller jusqu'à affaiblir l'argumentation, en couvrant par des ménagements timides les faits qui révèlent l'intérêt général, urgent, impérieux, de la solution proposée.

Ces ménagements, qui ont détourné l'administration d'exposer les graves inconvénients, nous pourrions presque dire les souffrances de la population parisienne, résultant du manque d'eau et de la très-mauvaise qualité de celle dont on dispose (celles de l'Ourcq, de la Seine et des puits); ces ménagements, devant lesquels on en est venu à ranger l'alimentation de Paris en eau potable, fraîche, pure et salubre, dans l'ordre des questions à trancher par l'économie relative des solutions diverses, ces ménagements, disons-nous, sont bien plus fâcheux encore quand il s'agit des égouts.

Pour faire comprendre l'intérêt qui s'attache à cette dernière question, il eut fallu d'abord exposer à la population les dangers qu'elle court par l'état actuel des travaux d'assainissement; travaux qui d'ailleurs, n'impliquent la

responsabilité de personne dans la triste solution à laquelle ils aboutissent.

Le sol de la ville de Paris a une configuration telle, que pour se débarrasser rapidement des eaux d'égout, on les jetait dans le fleuve par des canaux ou égouts transversaux à sa direction. On a ainsi empoisonné le lit du fleuve et ses eaux jusque dans l'enceinte de la ville. Il était impossible de persévérer dans cette voix; on s'est alors décidé à faire couler les eaux d'égouts parallèlement au fleuve, jusqu'à l'extrémité en aval des murs de Paris; mais alors, la pente manquant, ces eaux ont coulé lentement.

Veut-on savoir les effets de la lenteur d'écoulement de l'eau dans les égouts ?

Paris, bien ou mal pavé, laisse infiltrer les eaux pluviales dans son sol. On ne dépave pas une rue sans trouver jusqu'à un mètre de profondeur un mélange de sable visqueux et de vase durcie, coloré en noir et dégageant une odeur insupportable d'hydrogène sulfuré.

Aussi, lorsque l'air redemande le matin à la terre l'humidité qu'elle a condensé la nuit, les rues se chargent de vapeurs fétides.

L'été, lorsque après des pluies froides, la chaleur de la terre vaporise une partie de l'eau que celle-ci a reçue, l'air devient plus fétide encore. En un mot, toutes les fois que l'air sec emprunte de l'humidité à la terre, Paris produit cette humidité en vapeur et en gaz nuisibles.

Les eaux d'édilité, c'est-à-dire d'arrosage, tombent donc dans les égouts déjà chargées de matières putrescibles.

Ces miasmes, qui se dégagent de la rue, ne peuvent être reprochés aux égouts; mais le rôle de ceux-ci est plus nuisible encore. Les égouts reçoivent et conduisent des eaux chargées d'immondices, dont la décomposition s'opère dans l'égout même à la faveur de la lenteur de l'écoulement, de la température élevée des égouts et du mélange intime de tous les éléments qui provoquent, entretiennent et activent la putréfaction. Les résidus des ménages, incomplètement enlevés, mélangés avec les eaux pluviales et avec les eaux d'arrosage, mélangées elles-mêmes avec les vases putrides des ruisseaux, entrent dans l'égout en rapide décomposition. Par tous les états de l'atmosphère, les bouches et regards d'égout, qui s'ouvrent dans les rues à de très-faibles distances, deviennent des soupiraux de putridité. On a voulu se préserver de la vue et du contact du fléau, on y a réussi ; mais on le respire à pleins poumons. On distingue, le matin, la ligne du grand égout d'Asnières à des colonnes de vapeur blanchâtre qui s'échappent par ses regards et ses bouches.

Si cet état de choses continue, les maisons situées devant les bouches et regards d'égout seront dépréciées, parce qu'elles seront malsaines.

Ce n'est pas tout. Les égouts constituent sous les rues de véritables murailles imperméables arrêtant la marche des eaux d'infiltration dans le sous-sol. Les eaux pluviales s'amassent sous le sol des cours. Elles l'imprégnent et ne se perdent plus par infiltration. Les caves deviennent humides; l'air y est si souvent vicié qu'une lumière y brûle avec difficulté. Si les caves ouvrent sur l'escalier de service des maisons, elles sont souvent empestées par l'air qui s'en dégage : ainsi les égouts forment des barrages qui accu-

mulent l'humidité dans le sous-sol des maisons, et cette humidité ne tarde pas à devenir pestilentielle.

Si la population parisienne n'était pas sobre, si elle n'était pas bien vêtue; propre, autant que le manque d'eau le permet; si elle n'avait pas des notions et des habitudes hygiéniques plus avancées qu'aucune autre, Paris serait la ville la plus malsaine du monde, parce que c'est celle qui produit, dans le plus petit espace, la plus grande quantité de résidus de tout genre.

Cependant, malgré les qualités de sa population, Paris souffre continuellement d'épidémies. Les miasmes qui sortent de son sol et de ses égouts y entretiennent des prédispositions qui étendent et généralisent non-seulement les maladies de saison, mais encore celles qui ont le caractère épidémique.

Ce qui, jusqu'à ce jour, a couronné l'œuvre, ce qui achève l'histoire des idées fausses qui ont créé, développé et réglé comme une œuvre d'art notre système d'assainissement, c'est le transport au fleuve de toutes les immondices auxquelles les eaux d'égout servent de véhicule.

Il y a, dans cet empoisonnement des eaux et du lit d'un beau fleuve, un des actes les plus barbares dont une administration puisse avoir le regret, et dont nos neveux seront à coup sûr honteux pour notre génération.

S'il y a dans la nature un bien à conserver à l'humanité, c'est la limpidité, la fraîcheur, la pureté des eaux d'un fleuve destiné à alimenter les nombreuses populations disséminées sur ses rives : on prétend au contraire pouvoir, sans danger, infecter un fleuve par des eaux d'égout, en faisant un calcul proportionnel entre ce qu'on y jette et ce qu'il débite. Triste abus des chiffres : l'influence des égouts de Paris se reconnaît aujourd'hui facilement dans la Seine jusqu'à Rouen. Le sable du lit du fleuve, qui, il y a quinze ans encore, était blanc, a pris aujourd'hui la teinte du fond des égouts parisiens.

On ne peut plus se promener sur les bords du fleuve pendant l'été : l'air y est infect. La Seine est désormais un égout. Si on cessait demain d'y déverser les immondices de la grande ville, il faudrait encore des siècles pour que les tristes conséquences de ce système contre nature disparaissent. Que sera-ce si le système continue?

Voilà le mal. Il ne peut être évité que par un changement complet dans les moyens d'assainissement de la ville.

Les conditions nouvelles seront : de soustraire la ville aux dégagements d'hydrogène sulfuré et aux émanations pernicieuses provenant de la décomposition des résidus dans les égouts, en rendant le pavé imperméable, et en donnant aux eaux d'égout une très-grande vitesse d'écoulement; de laisser les eaux d'infiltration suivre leur cours dans le sous-sol, en supprimant les barrages que constituent les murs des grands égouts; d'empêcher que ceux-ci ne deviennent des foyers d'infection permanents, sans quoi ils vont devenir les artères des maladies épidémiques.

Ces conditions seront encore de remplacer tout le système de lent écoulement des eaux d'égouts résultant de la pente insuffisante du sol par

des dispositions propres à donner aux eaux une très-grande rapidité d'écoulement : d'employer des machines élévatoires ou refoulantes, substituant, dans des conduites en fonte, par la charge des eaux, ou par l'impulsion mécanique, des pentes très-fortes à des pentes presque nulles. Il faudra, en outre, simplifier toute cette question d'écoulement des résidus, en les séparant des eaux pluviales et d'arrosage, exactement comme cela a été effectué avec tant de succès pour le dépotoir et la conduite de Bondi.

Dans ces conditions, le fleuve ne recevrait plus que les eaux pluviales ou d'arrosage.

Les résidus ont, comme toutes les matières que la décomposition restitue à la vie organique par les lois de la reproduction, cette singulière et providentielle faculté que, rendues à la terre, ils cessent immédiatement de donner lieu à des émanations délétères. Grande et admirable loi, qui doit devenir la base scientifique de tout système d'assainissement des villes, car elle est l'expression providentielle et simple de la marche de la nature.

Au lieu donc de mélanger les résidus avec une grande quantité d'eau, au lieu de créer sous les villes, par de vastes égoûts, de véritables fleuves de putridité, il faudrait, autant que possible, les isoler, les enfermer dans des conduites métalliques ; les transporter rapidement, les faire disparaître, sans qu'ils laissent dans l'air trace de leur passage, et les rendre à la terre avec les sources de fécondité qu'ils contiennent ; enfin envoyer au fleuve les seules eaux pluviales et d'arrosage, en les assainissant par un pavage imperméable des rues.

Telles sont les conditions propres à rendre à la ville de Paris la salubrité qu'elle a perdue. Elles ne doivent pas être accueillies comme une révolution dans l'art d'assainir les villes ; d'abord parce que cet art n'existe pas encore : il en est à ses premiers pas d'enfant. Ce n'est que dans ces derniers jours que la science a révélé les faits si généraux et si essentiels dans cette question des fermentations putrides résultant de la décomposition spontanée des matières végétales et animales dans lesquelles la vie a cessé ; ce n'est que d'hier que l'action nuisible de ces vapeurs fétides et insalubres sur la santé humaine a été bien constatée ; ce n'est enfin que de notre génération que datent les questions qui ont posé le grand problème de l'assainissement des villes.

En attendant que la science ait parlé, que faisaient les ingénieurs dans l'art de construire les égouts ? Ils faisaient écouler l'eau. Suivant quelles règles ? Suivant la pente du sol vers le fleuve. L'art en est-il là aujourd'hui ?

M. le Président remercie l'auteur de ces observations, qui forment un appendice éminemment utile aux discussions sur le Mémoire de M. le Préfet de la Seine.

La parole est donnée à M. C. Tronquoy, pour une communication sur la lampe sous-marine de M. Guigardet.

Au moment, dit M. Tronquoy, où s'exécutent de tous côtés des travaux hydrauliques si importants et qui réclament tant de précautions, je crois utile de signaler à l'attention de la Société la lampe sous-marine in-

ventée par M. Guigardet, qui me paraît propre à rendre de véritables services pour ces sortes de travaux.

Cette lampe est du genre de celles dites *à hydrogène liquide*, c'est-à-dire qu'elle est alimentée par un mélange d'alcool et de térébentine; elle est enfermée dans une cage cylindrique en verre hermétiquement fermée, et assez solide pour résister à la pression de l'eau ; cette cage est surmontée d'un tube, ou cheminée destinée à laisser échapper la fumée et les gaz produits par la combustion.

Deux tubes verticaux placés latéralement amènent dans la cage de verre et à la partie inférieure l'air nécessaire à la combustion ; un récipient, formant pied, placé à la partie inférieure de l'appareil, communique avec les tubes d'arrivée d'air par deux petits tubes se raccordant avec les premiers aux points où ceux-ci se courbent avant d'entrer dans la cage. Ce récipient sert à recevoir les liquides qui se condensent dans les tubes ou dans la cage, liquides qui, en s'accumulant dans les coudes des tubes d'air, viendraient les obstruer, et empêcheraient l'accès de l'air au bec de la lampe.

Enfin un anneau en fer placé à la partie inférieure du récipient sert à accrocher un poids destiné à assurer la verticalité et la fixité de l'appareil, tandis qu'un flotteur sert à le soutenir.

Faisons remarquer, en terminant cette description sommaire de la lampe de M. Guigardet, que, suivant la profondeur à laquelle l'appareil doit être descendu, on ajoute au moyen d'écrous, tant sur le tube cheminée que sur chacun des tubes d'amenée d'air, des tubes en longueur suffisante pour que leur extrémité libre soit au-dessus du niveau de l'eau de 50 cent. à 1 mètre.

Des expériences ont été faites à Paris et à Marseille : je vais les rapporter ici d'après les certificats donnés à M. Guigardet par des ingénieurs et des praticiens distingués qui ont assisté aux expériences, et par les plongeurs qui les faisaient; elles indiquent suffisamment les avantages que l'on peut tirer de l'emploi de cette lampe pour les travaux dans nos ports et dans nos rivières; pour la pêche du poisson, du corail, des perles et des éponges; pour les réparations et le sauvetage des navires, etc., etc.

Au Pont d'Arcole, un plongeur, en présence de M. Vaudrey, ingénieur des ponts et chaussées, a pu examiner les effets d'une mine, et ramasser sur le fond, les pierres qui avaient été projetées par cette mine.

Au bassin de Chaillot, il y avait 5 mètres d'eau, et l'œil ne pouvait distinguer en plein jour à plus de 80 centim. de la surface. La lampe a été posée sur le fond; puis, un ouvrier revêtu du scaphandre, muni d'une ardoise et d'un crayon, est descendu dans le bassin. La commission l'avait chargé de chercher une boîte en verre jetée par un de ses membres dans le voisinage de la lampe, et contenant à l'insu du plongeur une médaille.

Au bout de quelques instants, l'ouvrier est remonté tenant la boîte et ayant écrit sur l'ardoise à la lueur de la lampe, les mots lisiblement tracés : *La boîte contient une pièce de monnaie;* il a déclaré que la clarté répandue par la lampe était suffisante pour lui permettre de travailler facilement jusqu'à une distance de 2^{m}.20, mesurée par lui avec un mètre dont il était muni.

A Marseille, à une profondeur de 5 mètres, dans des eaux renommées par leur peu de limpidité, une certaine longueur de nattes en chanvre a pu être placée contre les parois d'un bateau-porte destiné à fermer l'entrée d'un bassin de radoub. Un autre plongeur, en présence d'une commission de la société de statistique de Marseille, a fait connaître le millésime d'une monnaie qu'on lui avait fait passer; il a pu, sur des planchettes où étaient tracés des polygones, planter des clous au sommet de ces polygones, et cela, à une distance de $2^m.50$ de la lampe.

Enfin, de l'avis de toutes les personnes qui ont assisté aux expériences, il résulte que la lampe de M. Guigardet permettrait de visiter la nuit, même dans des eaux sales, des hélices de navire; d'y faire certaines réparations, de placer des mines sous-marines, de reconnaître les fonds; en un mot, d'exécuter tous les travaux hydrauliques pour lesquels jusqu'à ce jour il fallait attendre la lumière du jour, qui ne concordait pas souvent avec le moment le plus favorable comme hauteur du niveau de l'eau.

Cette lampe serait donc ainsi, par suite de la régularité de la combustion et de son pouvoir éclairant, le complément presque indispensable du scaphandre, qui a rendu déjà tant de services et en rendrait plus encore.

Après avoir remercié M. Tronquoy de son utile communication, M. le Président croit devoir faire remarquer qu'un membre de la Société des Ingénieurs, M. *Émile Trélat*, a présenté récemment à la Société d'Encouragement, au nom de son Comité des Arts économiques, un rapport très-favorable sur la lampe sous-marine de M. Guigardet.

SÉANCE DU 3 JUIN 1859.

Présidence de M. Faure.

M. Ch. Laurent donne lecture d'un mémoire sur les sondages exécutés depuis 1856 dans le Sahara oriental par MM. Degousée et Laurent (1).

M. le Président, après avoir vivement remercié M. Laurent, annonce que la Société a reçu un dessin donnant deux coupes géologiques du sol de Paris, dressées par M. Delesse, ingénieur des mines, qui a bien voulu charger M. Yvert de l'offrir à la Société.

Ces deux coupes géologiques du sol de Paris passent toutes deux par l'hôtel de ville : l'une se dirige de l'église de Montmartre à la mire de l'observatoire sur la commune de Gentilly; l'autre, du télégraphe de Belleville au puits artésien de Grenelle.

Leurs extrémités sont fixées par le mur d'enceinte fortifiée.

C'est la première fois que des coupes aussi complètes et aussi détaillées ont été produites.

(1) Ce mémoire est publié à la suite des résumés des séances.

Elles offrent un grand intérêt pour les ingénieurs chargés d'établir dans ces localités des constructions dont les fondations doivent descendre à une certaine profondeur dans le sol.

On y remarquera une nappe d'eau souterraine dont l'altitude varie entre 26 et 30 mètres entre les murs d'octroi. Elle traverse la Seine à niveau et se relève jusqu'à 40 mètres au delà de Gentilly et de Belleville, tandis qu'elle s'abaisse à 24 mètres au delà de Grenelle, et à 28 mètres au delà de Montmartre, après avoir atteint 33 mètres sous cette colline.

Cette nappe doit appeler une sérieuse attention de la part des constructeurs dans tous les points bas de l'intérieur de la ville.

Une seconde nappe d'eau souterraine, à l'altitude de 100 mètres, existe sur la hauteur de Montmartre avec une forte inclinaison vers le nord.

Ce dessin renferme, outre la nature de tous les terrains rencontrés, des renseignements précieux et utilement groupés, tels que l'altitude de tous les réservoirs de la ville, tant pour l'alimentation actuelle que pour celle projetée, les plus hautes et les plus basses eaux de la Seine, ainsi que leur étiage.

Une très-heureuse disposition consiste en une échelle métrique qui permet de connaître de suite, et de la manière la plus commode, l'altitude de chacune des couches géologiques.

M. le Président remercie M. Yvert d'avoir bien voulu joindre à l'intéressant et utile document offert à la Société une analyse qui en fait ressortir l'importance.

M. Barroux donne communication des perfectionnements qu'il a apportés à son nouveau système de voie posée sur semelles en fer, système dont il a déjà parlé dans les séances des 15 octobre et 19 novembre 1858.

M. Barroux résume de la manière suivante les considérations qui l'ont porté à faire cette étude, et explique, en présentant un spécimen de son nouveau système de voie, les conditions de stabilité et d'économie qu'il croit avoir réalisées.

La grande consommation de bois qu'exigent la construction et l'entretien des chemins de fer est aujourd'hui la cause d'une préoccupation sérieuse, et diverses tentatives ont déjà été faites pour en restreindre l'emploi ou le supprimer.

Pendant quelque temps on a pu espérer que le système Barlow deviendrait une solution pratique, sans emploi de bois; cet espoir ne s'est pas réalisé, et l'insuccès paraît surtout devoir être attribué aux difficultés que présente la fabrication du rail.

Sans attendre que des perfectionnements suffisants soient réalisés dans cette fabrication spéciale, ce qui peut être long, il paraît possible d'obtenir, dès aujourd'hui, les avantages de ce système, en n'employant cependant que des matériaux de fabrication courante. Il suffirait pour cela de se servir du rail Vignole, en le faisant reposer sur une semelle en fer plat de 0 m. 25 environ de largeur, et d'une épaisseur suffisante pour qu'elle ne puisse fléchir longitudinalement autour du pied du rail.

Ce principe admis, il ne reste plus qu'à trouver des moyens d'attache

convenables, présentant la solidité nécessaire et les facilités de démontage indispensables pour assurer l'indépendance des éléments de la voie.

Le projet que je présente est une étude faite dans cette direction.

La liaison du rail avec la semelle est obtenue : à l'intérieur de la voie, par une agrafe en fer, rivée sur la semelle; à l'extérieur, par une clavette encastrée pour ainsi dire dans une nouvelle agrafe également rivée sur la semelle et qui supporte l'action du serrage.

Une petite pièce en tôle dont on rabat l'extrémité sur la tête de la clavette s'oppose à tout desserrage provoqué par les trépidations de la voie.

Les joints de rails se font toujours sur le milieu de la longueur d'une semelle; en ce point l'agrafe intérieure est commune pour les deux extrémités à réunir, et elle a une longueur de 0 m. 20 à 0 m. 25. A l'extérieur, une clavette à chaque extrémité paraît plus convenable pour mieux assurer l'invariabilité de l'assemblage. Ce mode de liaison semble exclure toute possibilité de ressaut, et par conséquent atteindre le même résultat que les éclisses, mais d'une manière plus assurée, puisque aucun relâchement n'est possible.

De trois en trois mètres, c'est-à-dire à chaque jonction des rails de semelles, on place une traversine en bois pour maintenir l'écartement de la voie et assurer l'inclinaison du rail; l'emploi du fer pour cette fonction aurait moins de simplicité et serait plus coûteux, avec le prix actuel des matières.

Les semelles sont clouées sur les traversines par leur milieu et leurs extrémités, mais leur longueur est moindre que celle des rails de 0 m. 04, afin d'être affranchi de toute sujétion de longueur dans les courbes et de pouvoir attacher directement, par deux crampons, le milieu de chaque rail sur la traversine.

Pour suppléer à l'insuffisance possible de la résistance latérale du ballast, des pièces de tôle formant *arrêts de ripage* sont rivées au dessous des semelles pour assurer la stabilité horizontale de la voie.

Les frais d'installation de ce système sont :

Pour une longueur de 6 mètres, et en employant des rails de même poids qu'avec les traversss :

Fer pour semelles de 0 mètre 25 de longueur et de 8 millimètres d'épaisseur.

2 semelles de 5 m. 96.	poids	185 k.	95
0 m. 80 fer de semelles pour arrêts de ripage. .	»	12	50
1 m. 20 fer pour 8 agrafes simples de rails et 2 agrafes de joints à 7 k. 50 le mètre . . .	»	9	00
1 m. 20 fer pour 12 agrafes de clavette de serrage.	»	9	00
12 clavettes de serrage en fonte.	»	4	40
28 rivets de 18 millim. de diamètre.	»	4	40
8 clous et 4 crampons à 0 k. 30 l'un.	»	2	40
		227 k.	65

Bois pour 2 Traversines.

$2 \times 2.30 \times 0.25 \times 0.12 = 0.15.$

Ce qui donne pour dépenses :

227 k. 65 fer à 30 fr	68 fr. 29
0 m. 15 de bois à 70 fr.	10 50
Façon comprenant poinçonnage des fers et rivure. . .	6 00
Total. .	84 fr. 79

Soit par mètre courant :

$\frac{84.79}{6} = 14.13.$

Cette dépense est sensiblement la même que celle d'une voie posée sur coussinets et éclisses, et tout porte à croire qu'elle se comporterait d'une façon aussi satisfaisante.

En effet, le rail, étant de même poids, posséderait la même résistance transversale et répartirait le poids d'une roue à 0 m. 50 au moins de chaque côté du point d'application. La semelle donnant au rail un empattement de 0 m. 25 de largeur, une roue motrice serait supportée par une surface de 2,500 cent. carrés, ce qui donnerait une pression moyenne de 2 k. par centimètre, pour un poids de 5,000 k. Aux points de jonction des semelles et surtout des rails, la résistance transversale est considérablement diminuée; mais en ces points la traversine concentre la résistance due à sa surface d'appui sur le ballast, et rétablit ainsi l'égalité de résistance et par conséquent l'homogénéité de la voie.

La pression moyenne de 2 k. par centimètre carré développe un travail de 6 k. par millim. de section dans le fer de la semelle par une saillie de 8 centimètres en dehors du pied du rail; c'est cette donnée, qui a fixé l'épaisseur indiquée, qui pourrait être admise pour une première expérience.

On peut faire cette objection que, si les clavettes ne sont pas susceptibles de desserrage, elles pourraient bien se rouiller, et, par suite, se souder avec le rail et la semelle, ce qui constituerait un inconvénient sérieux.

Pour écarter cette objection, les clavettes sont en fonte et non pas en fer; elles devraient être imprégnées d'huile pour être mises à l'abri de l'oxydation, et les résultats obtenus par ce procédé dans quelques mines permettent pas de douter de son efficacité.

Enfin, si l'on remarque que les clavettes n'ont à résister qu'à un effort de compression, rien n'empêcherait d'en placer quelques unes en zinc pour obtenir une action galvanique sur le rail et surtout sur la semelle, si l'expérience révélait la nécessité d'avoir recours à cette action préservatrice de la rouille.

En résumé, ce système semble promettre les avantages suivants :

Homogénéité complète de la voie et égalité de résistance sur tous les points de la surface de roulement.

Réduction de l'emploi du bois à 1/5e environ des quantités aujourd'hui

nécessaires, et possibilité de les supprimer complètement si on le juge convenable.

Durée infiniment plus longue des supports de la voie, et, par suite, réduction importante des frais d'entretien et de renouvellement.

Ce qui autorise à conclure qu'un essai aurait certainement de l'intérêt dans les circonstances actuelles.

M. le Président, d'après le désir qui lui en a été exprimé par M. Barroux, donne lecture d'une lettre adressée à ce dernier par M. Couche, ingénieur des mines, dont on sait la haute compétence en ces matières. Cette lettre, après avoir présenté deux objections au système proposé par M. Barroux, exprime le désir de voir entreprendre une application expérimentale de ce système, en même temps qu'elle signale divers essais tentés par des ingénieurs anglais, dans un ordre d'idées plus ou moins analogue.

M. Richoux croit devoir insister sur les objections soulevées par M. Couche, et il développe les observations suivantes :

Bien que M. Barroux ait mis à profit, pour son nouveau système de voie, une partie des observations qui lui ont été faites dans une de nos précédentes séances, son projet laisse encore subsister trois inconvénients principaux :

1° La faiblesse de l'assemblage au joint des rails ;

2° La déformation latérale ;

3° L'insuffisance du point d'appui.

Examinons ces trois causes d'altération de la voie.

La faiblesse de l'assemblage du joint des rails est évidente ; car, en admettant même que la platebande posée sur les patins des rails fasse, par la rivure, un seul corps avec la semelle de 8 mil. d'épaisseur qui appuie sur le ballast, ce qu'on ne peut se flatter d'obtenir au moyen des deux rivets projetés, cet ensemble ne présentera jamais qu'une résistance bien inférieure à celle du rail, et, dès-lors, les abouts des rails se déniveleront lors du passage des trains, et subiront les alternatives qui sont la conséquence de ce mouvement. Compter sur le ballast pour s'opposer à cet effet, comme le dit M. Barroux, est une hypothèse gratuite et nullement fondée : car, il faut le remarquer, jamais le ballast ne sera bourré près du joint ; la traverse placée en cet endroit présente une surface suffisante et dans de bonnes conditions pour que le ballast ne puisse fuir dessous, tandis que les vibrations dues au passage des trains et amorties par le bois placé sous le joint auront pour effet de chasser le ballast de dessous la partie du rail voisine de la traverse.

La voie Barlow, dont l'homogénéité est infiniment plus grande que celle que nous examinons, présente, malgré sa selle, dont le moment d'inertie diffère peu de celui du rail, et qui s'y trouve fixée par huit rivets, une certaine insuffisance au joint, insuffisance qui se manifeste par une altération des rails plus sensible aux abouts que partout ailleurs.

Il est donc permis de conclure de cet exemple que M. Barroux ne peut se passer de l'éclissage, et, par suite, que son prix de revient, déjà égal

à celui de la voie à double champignons, doit être augmenté du prix de l'éclissage, soit de 1 fr. 65 c. par mètre.

Le nombre de traverses destiné à l'entretoisement des deux files de rails est insuffisant, au moins dans les courbes au-dessous de 7 à 800 mètres de rayon. Dans la voie Barlow, les entretoises placées, comme ici, de 3 mètres en 3 mètres, sont à la limite d'écartement nécessaire; et, lorsque le rail atteint 7 mètres, on place trois entretoises. Cependant, le rail est enterré dans le ballast, au lieu d'y poser simplement.

Comme déplacement général de la voie, par rapport à l'axe des terrassements, il n'y a que deux traverses par 6 mètres, plus quatre cornières présentant une surface de $0^m,03$, ce qui n'équivaut guère qu'à la résistance au déplacement d'une traverse supplémentaire. Par conséquent, la résistance au déplacement latéral est à peine la moitié de celle de la voie à double champignons, et même de la voie Barlow.

Il est vrai qu'on peut faire la cornière continue, mais alors le prix de revient est sensiblement augmenté, et il devient préférable d'abandonner le système pour avoir recours à l'un de ceux imaginés par Adams, et qui fonctionnent d'une manière satisfaisante.

L'insuffisance du point d'appui est évidente. La semelle plane, fixée au rail, ne peut s'opposer au déplacement du ballast; tous les inventeurs ont compris la nécessité d'obvier à cet inconvénient : les uns, comme Hamilton, dont le système, sauf l'attachement du rail sur la semelle, est semblable à celui de M. Barroux, donnent à cette semelle une forme concave; d'autres, comme M. Barberot, mettent une lame verticale en forme de quille sous toute la longueur du rail; d'autres emploient des cloches; Barlow crée son rail en forme de V renversé, et cependant, dans la voie Barlow il est difficile de maintenir le ballast dans un état de bourrage uniforme sur toute la longueur du rail, et c'est là le plus grand inconvénient de cette voie. Il est d'ailleurs inhérent à tous les systèmes de voie à support continu; il a une influence telle, qu'on a été conduit à poser la voie Vignole sur traverses, après l'avoir établie sur longrines.

En résumé, M. Barroux s'est proposé de supprimer les inconvénients attachés à la voie Barlow, inconvénients qui ont été certainement exagérés. Il ne faut pas attribuer au système les détériorations rapides du rail, détériorations dues principalement à la composition du paquet, et au glissement latéral des mises dans le laminage, glissement qui s'oppose à une bonne soudure, et qu'on parviendrait à éviter en laminant le rail à plat et en retournant les ailes, ainsi qu'on le fait aujourd'hui dans le laminage des coussinets en fer.

Le prix, matières de la voie Barlow, n'est que de 35 fr., les rails comptés à 300 fr.

Le prix de revient, matières de la voie de M. Barroux, est égal à celui de la voie à double champignon, soit de 37 fr. le mètre; il devrait être augmenté de 1 fr. 65 par mètre pour l'éclissage, et de 2 fr. au moins pour l'augmentation de la longueur de la cornière placée sous la semelle, soit en tout 3 fr. 65, et par conséquent le prix total serait de 5 fr. 65 plus élevé que la voie Barlow, tout en donnant de moins bons résultats.

Si l'on comparait ce système à divers autres, dans lesquels on a supprimé le bois, on arriverait encore à des conséquences plus défavorables; car la différence des prix de revient serait peu changée, et l'on ne pourrait plus objecter l'usure du rail, ni la cherté des bois.

M. G. TARDIEU appuie les observations présentées par M. Richoux.

SÉANCE DU 17 JUIN 1859.

Présidence de M. FAURE.

La parole est donnée à M. LOUSTAU, trésorier, pour l'exposé de la situation financière de la Société.

M. LOUSTAU indique que le nombre des Sociétaires, qui était au 17 décembre 1858 de. 485

s'est augmenté, par suite des nouvelles admissions, de. 23

Ce qui porte ce nombre, au 17 juin 1859, à. 508

Sociétaires décédés. 3

Reste. 505

Les versements effectués pendant le premier semestre de 1859 se sont élevés à.	6,110	05
Il reste à recouvrer en cotisations ou amendes.	14,407	»
Formant le total de ce qui était dû à la Société.	20,517	05
Au 17 décembre 1858, le solde en caisse était de. . .	2,562	95
Les versements effectués pendant le premier semestre 1859 se sont élevés à.	6,110	05
Total.	8,673	»
Les dépenses du premier semestre 1859 se sont élevées à.	5,452	75
Solde en caisse au 17 juin 1859.	3,220	25

L'approbation des comptes présentés par M. le trésorier est mise aux voix et adoptée.

M. le Président adresse à M. le Trésorier de vifs remercîments pour sa bonne et active gestion. Il fait ressortir ensuite le chiffre élevé des sommes non rentrées encore, et il invite les retardataires à se mettre en règle. Toutefois, en insistant sur les divers chiffres des dépenses, il fait ressortir

l'état satisfaisant de la situation financière, en présence de nos publications à jour et de leurs frais soldés.

La parole est donnée ensuite à M. VUIGNER, qui veut bien tenir la Société au courant des progrès des beaux travaux du Pont de Kelh, destiné à relier les Chemins français et allemands.

M. VUIGNER rappelle que, dans la séance du 6 mai dernier, il avait indiqué que, le 4 dudit mois, les caissons de la pile culée de la rive française étaient descendus à une profondeur de 15m05 au-dessous de l'étiage; qu'on pouvait s'arrêter à cette profondeur, indiquée comme minima dans la convention internationale, mais qu'il était probable qu'on descendrait à une profondeur de 17m pour être à l'abri des affouillements.

Des dispositions avaient été prises pour atteindre cette profondeur de 17m et même celle de 18; mais on a rencontré une couche assez épaisse de sable limoneux, presque sans mélange de gravier, où les caissons s'enfonçaient par leur propre poids.

L'existence de cette couche prouvait assez que des affouillements avaient eu lieu anciennement jusqu'à cette profondeur, et l'on a dû la traverser pour asseoir définitivement les fondations sur le gravier normal du Rhin. On a été entraîné ainsi à descendre jusqu'à une profondeur de près de 20m en contre-bas de l'étiage, et de 22m50 au-dessous de la surface des eaux du Rhin, le 27 mai, jour où l'on a cessé le fonçage.

Le fonçage, à cette profondeur considérable, a fait constater un phénomène assez curieux, c'est que les ouvriers étaient plus à leur aise et qu'on avait besoin d'une force moins grande pour comprimer l'air à une profondeur de 18 à 20 mètres qu'à la profondeur de 15 à 16m.

L'explication de ce phénomène paraît assez simple : à la profondeur de 15 à 16m, il se produisait à la surface de l'eau, tout au pourtour des châssis superposés aux caissons, des bouillonnements incessants qui prouvaient suffisamment qu'une assez grande quantité d'air passait au-dessous des caissons, et qu'il fallait ainsi une force plus considérable que celle normale pour maintenir la compression de l'air dans les caissons au degré voulu.

Ces bouillonnements ont diminué successivement ensuite et ils ont presque complètement cessé à une profondeur de 18m; les pertes d'air étaient donc devenues beaucoup moins considérables, et il fallait moins de force pour maintenir l'équilibre dans les caissons.

Pour les derniers mètres, deux machines ont suffi pour maintenir cet équilibre; on s'est servi alors des deux machines que la Compagnie avait fait confectionner spécialement pour les travaux du pont du Rhin, et comme l'air envoyé par ces machines était refoulé à travers une couche d'eau, il arrivait dans les caissons plus frais et plus pur que lorsqu'on se servait des autres machines, qui n'étaient pas dans le même système.

On fait maintenant les dispositions nécessaires pour commencer le fonçage des caissons pour la fondation de la pile culée de la rive badoise, qu'on espère terminer d'ici à la fin du mois de juillet.

M. le Président, après avoir remercié M. Vuigner, constate la satisfaction

avec laquelle la Société apprend le succès complet de ce beau et hardi système de fondation.

M. Richoux donne communication de deux études, l'une de *grue hydraulique*, l'autre *de grue roulante*, dont il offre les dessins à la Société. Il fait ressortir les divers détails de construction qui leur sont propres, en revendiquant pour leurs auteurs l'idée première de l'arbalétrier mobile disposé pour s'abattre sur un truc, pendant que la grue elle-même peut être attelée à un train.

M. le Président remercie M. Richoux pour cette communication.

Il donne ensuite lecture d'une note transmise par M. Alcan. Elle constate des essais intéressants sur les tuyaux en plomb étamé de M. Sébille, dans des circonstances éminemment propres à démontrer la résistance et la durée de ces tuyaux. Ces essais ont été faits par M. Barreau, architecte de la ville, dans un hôtel de la rue de Lille.

M. le Président donne lecture d'une note adressée à la Société par l'un de ses membres, M. Boudard jeune, sous-directeur de la filature de lin de Pont-Remy.

Dans cette note, M. Boudard, après avoir signalé l'intérêt que présente, selon lui, aux membres de la Société absents de Paris le sujet d'étude qui a récemment absorbé plusieurs de nos séances, *les Eaux de Paris*, rend d'abord un hommage bien senti à l'auteur de la note sur le même sujet, publiée dans le procès-verbal de la séance du 20 mai dernier. En abordant franchement la question, dit M. Boudard, et tout en paraissant tourner la difficulté peut-être, l'auteur de cette note a cependant attaqué le côté le plus vulnérable du projet de M. le Préfet. Diminuer ou faire disparaître les causes d'insalubrité permanentes, tel est le vrai problème, et ces causes ne peuvent être qu'imparfaitement combattues en livrant à la consommation une quantité d'eau plus considérable. En présence des résultats inappréciables, la question des dépenses premières reste secondaire aux yeux de M. Boudard, toutefois, il doute que la solution proposée par l'auteur de la note lue en séance le 20 mars réponde entièrement au but à poursuivre. Les inconvénients dus au pavage de Paris, recouvrant un foyer d'émanations sulphydriques, tend à disparaître de plus en plus, selon M. Boudard, depuis que l'on dispose les principales conduites de gaz le long des parois des grands égouts; et, avec la diffusion chaque jour croissante de ce système, l'emploi d'un pavage imperméable cesse de devenir nécessaire. Il pense, d'ailleurs, que les divers essais faits à cet égard et notamment l'application à froid d'asphalte artificiel sur un pavage ordinaire, au moyen d'un cylindre écraseur et compresseur, présente des difficultés pratiques très sérieuses.

Avec la configuration du sol de la ville de Paris, construite sur les deux versants de la vallée de la Seine, la généralisation du pavage imperméable, si elle devait n'être pas accompagnée d'un système d'égouts latéraux, aurait pour résultat d'inonder en certains moments certaines parties de la

ville, tout en n'entraînant vers la Seine que les eaux pluviales ou d'arrosage.

Les égouts constituent, en outre, de véritables barrages qui s'opposent à l'infiltration des eaux pluviales dans le sous-sol, mais, en même temps, ils offrent des débouchés qui ne doivent ni ne peuvent être supprimés surtout dans l'hypothèse d'un pavage rendu imperméable. Il faut donc les conserver, les multiplier, au lieu de viser à en réduire le développement, mais en les destinant uniquement à l'écoulement des eaux de pluie et d'arrosage. Un conduit spécial dans chaque maison et venant aboutir à un égout préserverait les cours intérieures contre l'humidité, en même temps qu'il protégerait les caves contre les infiltrations.

Reconnaissant les inconvénients des égouts à faible pente, M. Boudard pense qu'ils seraient considérablement amoindris, si l'administration municipale interdisait les dépôts sur la voie publique des immondices à l'état solide ou compacte qu'elle autorise maintenant, en faisant procéder chaque jour à l'aide d'un service spécial de voitures.

M. Boudard voudrait donc que ces immondices quotidiens, au lieu d'être mis en dépôts et en tas au devant des maisons chaque matin et livrés partiellement aux eaux d'arrosage qui les entraînent en les délayant plus ou moins, fussent confinés dans chaque maison et dans une fosse ou un réservoir construits *ad hoc;* ils seraient ensuite enlevés à domicile, mais sans avoir pu se mêler aux eaux d'arrosage et de pluie, et, dès-lors, la faible pente des égouts ne présenterait plus les mêmes inconvénients. Il voudrait encore interdire l'accès dans les égouts aux eaux ménagères; et, pour cela, il proposerait de déverser ces eaux dans la fosse spéciale, construite dans chaque maison parallèlement à la fosse d'aisances. Les résidus accumulés dans l'une et l'autre fosse seraient élevés mécaniquement et enlevés au moyen, par exemple, de réservoirs portatifs aspirateurs. Ainsi, les égouts seraient exonérés de la plupart des matières liquides ou solides qui peuvent donner lieu aux émanations putrides.

M. Boudard ne se dissimule pas, cependant, que les résultats voulus dans le système proposé ne seraient atteints que graduellement, au fur et à mesure de la rénovation des maisons parisiennes.

Citant ensuite quelques paragraphes du mémoire de M. le préfet, dans lesquels sont indiquées les dispositions que le chef de l'administration parisienne propose d'appliquer aux vidanges, M. Boudard les critique rapidement. L'emploi de conduites spéciales posées dans l'intérieur des égouts, et dont le contenu, avec sa consistance propre, devrait être extrait par voie d'aspiration mécanique, ne lui paraît pas praticable. Il voit dans les éventualités de rupture de ces conduites un danger et une cause d'infection telle, qu'elle suffit à faire rejeter le système. L'emploi d'appareils séparateurs, conduisant à déverser dans les égouts les liquides nauséabonds, après qu'on aurait recueilli les matières solides dans des wagons, lui semble de même peu acceptable, et d'ailleurs insuffisamment défini. Quels seront les appareils? fonctionneront-ils d'une manière régulière, sans engorgement? Quel sera le mode d'usage des sels minéraux doués de propriétés désinfec-

tantes? Si les détails donnés au mémoire permettent de comprendre le mode de service projeté dans les galeries principales, il n'indique pas suffisamment celui que l'on entendrait appliquer aux galeries secondaires. Enfin les conditions obligées d'un travail quotidien des plus actifs, dans de mauvaises circonstances de lumière et d'aérage, doivent faire redouter que la solution fondée sur l'emploi des appareils séparateurs et du transport souterrain des résidus solides ne satisfasse pas complétement dans la pratique appliquée sur cette échelle immense.

En terminant, M. Boudard insiste de nouveau sur l'idée qu'il a émise de construire dans chaque maison, parallèlement à la fosse d'aisance, une autre fosse spécialement affectée à la réception des eaux ménagères et des détritus quotidiens de chaque habitation. Il croit qu'un service de vidange fréquent leur pourrait être facilement appliqué.

M. le président, en disant que M. Boudard doit être remercié de sa communication, s'attache à faire ressortir le bon exemple donné par un membre de la Société absent de Paris, qui a voulu cependant intervenir dans nos études. S'il devait être imité, les liens et les rapports entre tous deviendraient meilleurs au profit de tous.

M. Jouannin pense que le premier moyen pour assainir les égouts serait d'éviter d'y verser tous les soirs le liquide provenant des fosses d'aisances, ce qu'on peut obtenir en adoptant un nouveau système de vidange, ou en généralisant celui mis en usage par la compagnie *Paris* pour les fosses mobiles, consistant en un tonneau placé sous la chûte des cabinets d'aisances, dans un caveau pratiqué à l'étage des caves, et enlevé par un service régulier; on débarrasserait les ruisseaux de la voie publique et les égouts d'un liquide infect, très-riche en azote, pouvant être utilement appliqué à l'agriculture.

Les égouts étant débarassés de cette cause d'infection, il ne serait pas nécessaire de retenir les eaux ménagères, qui ne peuvent être nuisibles; elles se composent bien il est vrai d'eaux grasses et d'eaux de savon, mais ces dernières n'entrent que pour une faible proportion dans la quantité d'eau coulant vers l'égout; les eaux de lavage proprement dites, qui ne sont pas sensiblement altérées, entrant pour la plus forte proportion, il croit qu'il serait nuisible d'en priver les égouts, qui ont besoin d'être lavés le plus possible : c'est à cette seule condition qu'on peut éviter les amas de matières solides pouvant donner par la décomposition des odeurs infectes.

Il n'y a pas à craindre que les matières étrangères provenant des eaux ménagères s'accumulent dans les égouts, car le service de curage est parfaitement établi, et fonctionne avec beaucoup de régularité. Il est du reste forcé, pour éviter dans les conduits souterrains les amas de sable provenant des chaussées empierrées qui sont entraînés par les pluies.

L'administration municipale en prescrivant la constructiou de caniveaux couverts pour conduire les eaux ménagères depuis l'habitation jusqu'à l'égout a déjà apporté une grande amélioration : par ce moyen on évitera la décomposition des matières susceptibles de se putréfier provenant des eaux ménagères restées en stagnation dans les ruisseaux.

Pour compléter le système d'assainissement, il faut s'efforcer d'amener dans les habitations la plus grande quantité possible d'eau pure ; de la distribuer à tous les étages, afin de la mettre à la disposition de tous les locataires : ces eaux, répandues en abondance et à bon marché, seront un moyen puissant employé pour chasser des égoûts les eaux impures et bourbeuses.

Il faut aussi espérer qu'un réglement administratif n'exigera pas que les propriétaires recueillent les eaux ménagères dans des réservoirs construits à cet effet : car ce serait une cause insurmontable d'empêchement à l'introduction de l'eau dans les habitations particulières, attendu que la dépense énorme qu'il faudrait faire pour enlever ces eaux sales augmenterait sensiblement les charges qui pèsent sur la propriété à Paris et détournerait chaque propriétaire.

MÉMOIRE

SUR

LES SONDAGES EXÉCUTÉS DANS LE SAHARA ORIENTAL

(*Campagne* 1857-1858)

Par M. Charles LAURENT.

Dans la séance du 20 juin 1856, j'ai eu l'honneur de rendre compte à la Société du voyage d'exploration que j'avais accompli l'hiver précédent au Sahara oriental, au point de vue de l'établissement de puits artésiens.

A cette époque déjà, un premier puits avait été pratiqué à Támerna ; son but, comme vous le savez, avait été de s'opposer à l'extinction imminente de cette riche oasis. Un succès complet avait été atteint en trente-neuf jours, malgré l'époque avancée de la saison sous ces climats brûlants.

Dans la campagne de 1856 à 1857 (une campagne se compte ordinairement du mois de novembre au mois de mai), avec un seul équipage de sonde, cinq nouveaux puits vinrent s'ajouter au premier et s'échelonner sur cette longue ligne qui, partant de Biskra, s'étend au-delà de Tougourt jusqu'à Tamelath, près Témacin.

Le résumé de ces premiers travaux, qui avaient en grande partie confirmé les hypothèses que nous avions émises dès le principe, est consigné dans une notice que nous avons donnée à la société géologique de France. Une planche fait voir l'ensemble de ces six puits. Comme ils ont déjà été décrits avec détail, il nous semble inutile d'y revenir ici, un exemplaire existant dans la bibliothèque de la Société.

Comme on le voit, la plus grande partie du programme tracé était accomplie, on pouvait rendre la vie à des oasis mourantes, en créer là où il n'y avait rien, rendre habitables d'affreux déserts, fixer par là au sol des populations nomades jusqu'à ce moment inquiétantes pour notre domination, en introduisant dans ces tribus des habitudes sédentaires si utiles à la civilisation du désert, et enfin établir des lieux d'étapes d'une immense importance au point de vue des communications entre les Zibans et l'Oued R'ir, en faisant disparaître le manque d'eau, si pénible dans ces contrées lorsqu'il se manifeste sur de longues distances.

Ces premiers travaux furent complétés dans la campagne de 1857 à 1858 par neuf nouveaux forages exécutés à l'aide de deux appareils, dont l'un restait sous la direction de M. Jus, ingénieur de notre maison, et dont l'autre était dirigé par le lieutenant de spahis Lehaut, coopérateur de M. Jus dans les premiers travaux, et qui avait été envoyé en France dans l'intervalle des saisons pour compléter son éducation de sondeur dans nos forages de la Moselle et de la Nièvre. Quelques-uns de ces nouveaux puits quittèrent la ligne déjà explorée et l'un d'eux fut pratiqué dans le Hodna, bassin immense, d'une fertilité exceptionnelle, et jouissant d'un climat supportable à l'Européen. Jusque-là, la sonde avait travaillé au point de vue presque exclusif de l'élément arabe; ici elle préparait le sol à la colonisation future. Le succès du premier sondage est donc un grand résultat.

Si les six premiers forages ont donné une apparence de raison aux coupes hypothétiques que nous avions tracées sur l'allure des eaux dans le désert, il n'en a pas été de même pour deux des huit suivants, qui sont tombés dans ces anomalies dont notre premier mémoire indiquait au reste la possibilité A ce point de vue, l'étude de ces derniers travaux présente donc un intérêt plus grand que ceux qui les ont précédés. Nous transcrivons purement et simplement ici le rapport pour chaque sondage que

nous avons, sur sa demande, adressé au général Desvaux. Sur la planche ci-jointe nous avons rapporté les sondages au relief du sol, comme nous l'avions fait précédemment, de manière à rendre plus saisissables à la vue ces anomalies, et, par suite, à faciliter la recherche des causes qui peuvent les avoir produites.

SONDAGE D'EL FAYD.

Zab Chergui.

Les travaux préparatoires de sondage, consistant en montage d'une chèvre, installation du matériel et creusement d'une excavation de 1^{m} de profondeur, ont été commencés et terminés dans la journée du 6 novembre 1857. Le premier coup de sonde a été donné par MM. : Séroka, commandant supérieur du cercle de Biskra, Amar, lieutenant de spahis à Zribet-el-Oued, si Mohamed, srir, Caïd de Biskra, si Mehouh ben Chenouf, fils du Caïd des Ouled Amor.

A 14^{m},55 de profondeur, une première nappe ascendante a été trouvée dans des sables gris argileux et s'est élevée jusqu'à 10^{m},55 au-dessous du sol. A 32^{m}, des argiles un peu sableuses se sont fortement resserrées, et ont nécessité de fréquents équarrissages pour livrer passage aux outils, qui y restaient fréquemment prisonniers, et enfin le prolongement de la première colonne jusque-là.

Le 20 décembre, à 100^{m},35, il y a eu une rupture de sonde, mais cet accident a été promptement réparé; le 25 on était à 106^{m}. A cette profondeur, inusitée dans les travaux précédents, le sondage a été interrompu faute de tiges. Commencé au diamètre de 0^{m},30, on avait dû, par suite des éboulements, descendre une colonne de tubes, qui était parvenue le 10 décembre à 65^{m}, et avait réduit le sondage au diamètre de 0^{m},25.

Une prolongation de sonde ayant été expédiée immédiatement de Biskra, le sondage fut repris; le 8 janvier il avait atteint la profondeur de 123m,40, lorsqu'il fut encore entravé par de nouveaux éboulements; on persista néanmoins, mais au-delà de 125 mètres, des sondes un peu lourdes et un terrain aussi ébouleux se resserrant sur les outils nécessitèrent des efforts très-grands, qui amenèrent plusieurs fois le bris de l'axe du treuil. Ces accidents furent toujours promptement réparés. Une prolongation du tubage étant devenue indispensable, on s'y est préparé; il était parvenu le 27 janvier au moyen des vis de pression à la profondeur de 90m,50. On ne pouvait opérer qu'en pratiquant à la base inférieure de la colonne de nombreux nettoyages; la sonde a été plusieurs fois prisonnière dans ces éboulements continuels et n'a pu être relevée qu'avec les plus grands efforts, les tiges ont été souvent tordues et la soupape déchirée. Enfin, la colonne refusant de descendre plus loin, on se résigne, pour reprendre l'ancien fond, à la descente d'une colonne de 0m,20, le 2 février; le 12 elle était parvenue à 117m50, et le sondage à 129m,90. Le forage était, au 1er mars, à la profondeur de 156m,17 et en bonne marche. Le matériel, construit pour un maximum de 150m, était épuisé; on se décida à suspendre ce travail pour le reprendre plus tard avec un matériel plus fort; la colonne de 0m,20 a été poussée jusqu'à 120m,15, et les colonnes enveloppantes de 0m,25 et de 0m,30, devenues inutiles, furent retirées.

Les terrains traversés sont :

1	Terre végétale, argile grise sableuse (lehm)	8m,00	8m,00
2	Sable gris plus ou moins pur.	2 00	10 00
3	Argile grise très-sableuse avec gypse	1 50	11 50
4	Argile plastique grise avec gypse.	3 15	14 65
5	Sable gris argileux.	0 50	15 15
6	Sable jaune très-argileux avec quelques cailloux roulés.	2 85	18 00
7	Argile jaune sableuse dure..	6 20	24 20
8	Sable gris argileux très-dur avec gypse	0 40	24 60
9	Argile jaune compacte avec quelques silex	7 80	32 40

10	Sable gris tendre avec gypse	1	00	38	40
11	Sable jaune un peu argileux avec gypse et silex	0	30	38	70
12	Argile plastique bleue et jaune un peu sableuse avec gypse cristallisé	2	70	36	40
13	Argile jaune un peu sableuse avec gypse	3	90	40	50
14	Argile grise sableuse	0	50	41	00
15	Sable gris pur assez gros	0	20	41	20
16	Sable rouge gras avec gypse	1	60	42	80
17	Sable gris très-dur	1	60	44	40
18	Sable jaune avec gypse cristallisé et cailloux roulés.	0	60	45	00
19	Sable pur gris et jaune	1	40	46	40
20	Sable rouge gypseux avec rognons de calcaire	1	10	47	50
21	Sable gris.	4	20	51	70
22	Argile jaune très-sableuse et très dure avec gypse	14	30	66	00
23	Sable jaune gras très-fin gypseux	6	20	72	20
24	Sable gris quartzeux très-dur.	0	50	72	70
25	Argile jaune très-compacte avec gypse	3	10	75	80
26	Sable argileux jaune et gypseux	1	80	77	60
27	Argile jaune sableuse avec gypse.	1	20	78	80
28	Sable jaune avec veinules bleues.	4	00	82	80
29	Sable jaune très-dur.	7	20	90	00
30	Argile jaune sableuse avec gypse.	14	00	104	00
31	Sable gris et jaune très-fin et très-dur	2	15	106	15
32	Argile jaune gypseuse.	0	50	106	65
33	Sable rouge argileux avec gypse	0	50	107	15
34	Sable jaune argileux très-gypseux	22	15	129	50
35	Argile grise très-sableuse et très-fétide	0	40	129	90
36	Argile jaune sableuse et gypseuse avec veinules bleues.	3	20	133	10
37	Sable jaune rougeâtre un peu argileux avec gypse	2	92	136	02
38	Sable jaune et gris un peu argileux très-dur	1	40	137	42
39	Argile grise un peu sableuse, boueuse et fétide.	0	40	137	82
40	Sable rouge gras gypseux.	1	48	139	30
41	Argile rouge très-compacte et très-gypseuse	6	96	146	26
42	Id. Id. plus sableuse	7	44	153	70
43	Sable gris dur	0	60	154	30
44	Sable rouge et gris très-dur, très-argileux avec gypse	1	87	156	17

Le sondage d'El-Fayd, placé à une altitude très-basse, 40 mètres environ au-dessous du niveau de la mer, présentait les plus grandes probabilités d'un magnifique succès. Il n'en a pas été ainsi : la sonde a bien rencontré jusqu'à 156^{m},17 des successions sableuses séparées par des argiles; mais les sables tellement fins et argileux sont impénétrables à l'eau. Ces sables, lavés et dégagés de l'argile qui les enveloppe plus ou moins, sont identiques à ceux des autres sondages et même à ceux du Hodna.

Malgré le peu de succès obtenu jusqu'à présent, nous croyons que l'on doit persister à approfondir tant que la sonde rencontrera des alternances sableuses et argileuses. Un matériel de sonde beaucoup plus fort étant maintenant sur les lieux, on pourra reprendre ces travaux, qui, même infructueux, seraient toujours un grand éclaircissement géologique.

Cette composition particulière des couches sableuses, rencontrées par la sonde, peut suivant nous s'expliquer par les raisons suivantes :

La chaîne des monts Aurès, qui limite le Sahara, présente au désert et particulièrement vers la hauteur d'El-Fayd d'énormes dislocations dans tous les sens, présentant souvent leurs tranches calcaires, et redressées au désert, qui cache sous les terrains traversés par la sonde leur prolongement, affaissé à une profondeur indéterminable. Lorsque par un effort de soulèvement les monts Aurès ont surgi, il est probable que, par contre, la surface saharienne s'est affaissée, et que l'énorme dépression du Chott-Melr'ir est le résultat de ce mouvement de bascule. Il doit donc nécessairement exister, vers la zône nord du Sahara oriental, une faille immense, qui a dû dans l'origine déterminer un réservoir aqueux d'une grande profondeur. Tous les cours d'eau venant s'y jeter avec le tribut de leurs charriages devaient y amortir presque instantanément leur courant, qui alors n'était plus capable que de transporter les matières les plus tenues, qui, en suspension dans ces eaux profondes, allaient s'échouer aux points les plus tranquilles et s'y accumuler. Le sondage d'El-Fayd est probablement sur un de ces points dans son voisinage. Il doit donc être poursuivi comme éclaireur, et, s'il n'est pas complètement dans la faille, donner peut-être avant 200 ou 250 mètres un beau résultat. La non réussite de ce sondage d'étude n'exclut pas tout espoir d'obtenir des eaux jaillissantes dans le Zab-Chergui, et, sans se mettre à une altitude trop haute, de nouveaux sondages peuvent avoir de

beaux résultats, et celui projeté à Sidi-Salah ramener de nouvelles espérances sur ce magnifique pays.

SONDAGE D'EL-MEKAM.

Ce sondage, placé sur le versant de ces plateaux élevés qui précèdent Doucen, mais dans un point bien inférieur encore aux affleurements des poudingues et des marnes gypseuses miocènes qui affleurent dans cette localité, a été poussé jusqu'à une profondeur de 94 mètres.

Pratiqué à une altitude de 78 mètres environ, il a traversé les alternances presque continuellement sableuses suivantes :

1	Terre végétale sableuse.	0m	,50	0m	,50
2	Poudingue de gypse	2	50	3	00
3	Sable rouge et blanc avec quelques cailloux roulés. . . .	5	00	8	00
4	Sable blanc très-gros avec cailloux roulés.	8	80	16	80
5	Argile rouge sableuse	1	70	18	50
6	Sable blanc quartzeux avec cailloux roulés	1	30	19	80
7	Argile rouge plastique avec rognons de calcaire	2	30	22	60
8	Sable rouge, blanc et bleu	0	60	23	20
9	Sable rouge argileux très-dur.	3	00	26	20
10	Sable gris avec quelques plaquettes de grès.	0	70	26	90
11	Sable rouge très-argileux	2	70	29	60
12	Sable rouge très-dur avec rognons calcaires.	0	40	30	00
13	Sable rouge très-argileux.	1	70	31	70
14	Sable gris et noyaux de calcaire.	4	00	35	70
15	Sable blanc quartzeux très-dur.	0	40	36	10
16	Sable gris très-dur.	4	70	40	80
17	Sable très-argileux.	0	40	41	20
18	Sable rougé argileux avec noyaux calcaires et plaquettes de grès.	2	80	44	00
19	Sable gris avec noyaux calcaires.	2	50	46	50
20	Sable argileux rouge et calcaire	3	90	50	40
21	Sable gris quartzeux très-dur.	1	90	52	30
22	Sable rouge argileux	2	00	54	30
23	Sable gris	3	60	57	90
24	Sable rouge argileux avec noyaux de calcaire	2	10	60	00
25	Sable rouge quartzeux	3	90	63	90
26	Sable rouge argileux	2	10	66	00
27	Sable rouge quartzeux.	1	00	67	00
28	Sable rouge quartzeux et rognons de sables argileux agglutinés.	1	70	68	70

29	Sable blanc et rouge quartzeux.	2	00	70	70
30	Sable bleu et rouge avec calcaire compacte.	2	00	72	70
31	Id. Id.	1	30	74	00
32	Sable bleu et gris avec noyaux de calcaire.	1	30	75	30
33	Sable rouge très-argileux	6	10	81	40
34	Sable rouge très-argileux tendre.	0	90	82	30
35	Sable rouge avec noyaux de calcaire.	4	50	86	80
36	Sable gris noir avec quelques rognons de calcaire	2	00	88	80
37	Sable blanc rouge quartzeux avec quelques plaquettes de grès.	5	20	94	00

Une première nappe ascendante a été rencontrée à 19m,30 et une seconde à 72m,52, dont le niveau s'est établi à 12 mètres au-dessous du sol, c'est-à-dire à 66 mètres au-dessus du niveau de la mer. Ces eaux se sont révélées lorsque le sondage était à 72m,52 dans un sable blanc et rouge avec calcaire; il est plus que probable qu'elles sont contenues aussi dans la couche précédente, composée de sables rouges et blancs quartzeux.

Une colonne de 0m,25 de diamètre tube ce puits jusqu'à la profondeur de 72m,50. Bien que ces eaux soient assez éloignées de la surface, il est probable qu'elles seront utilisées un jour au moyen des pompes dont l'usage commence à s'établir dans le cercle de Biskra.

Ce sondage rentre, comme celui de Chegga, dans cette série de nappes supérieures qui ont une origine beaucoup plus récente que celle qui alimente les puits de l'Oued-R'ir. Chegga, étant beaucoup plus bas, a pu donner des eaux jaillissantes, quoique placé sur la ligne que nous avons regardée comme la moins favorable à cause de la dépression du sol de ce point à Biskra, dépression qui permet à l'Oued-Djedi de couper les poudingues inférieures, tandis que El Mekam, bien que mieux placé par suite du relèvement régulier vers Doucen, est à une si grande hauteur, que les nappes qui alimenteraient ce puits ont besoin d'être recherchées beaucoup plus bas. Tant que les alternances sableuses se succèdent, il n'y a pas lieu d'abandonner un sondage, et on doit

conserver tout espoir de rencontrer de nouvelles nappes qui seront de plus en plus ascendantes et même jaillissantes.

SONDAGE DE SAÂDA.

Zab Chergui.

Le sondage de Saâda a été exécuté dans le Bordj de Tahir Rashou, à dix mètres d'un puits creusé jusqu'aux alluvions de la rivière voisine l'Oued-Djedi, près du confluent de l'Oued-Biskra. Le niveau du sol doit être à une attitude de 35 à 40 mètres.

Le 7 et le 8 mars 1858 ont été employés à l'installation de la chèvre, du treuil et du matériel. Le sondage a été commencé le 9 au diamètre de 0,35. Les premières eaux rencontrées, à 10^{m}.80, indiquent le niveau de la nappe d'eau qui circule lentement sous l'alluvion de l'Oued-Djedi, presque toujours desséché à la surface.

Ce travail a marché d'une manière normale jusqu'à 27^{m}.20, où la sonde a rencontré un grès blanchâtre très-dur, ou plutôt un calcaire siliceux avec quelques lamelles spathiques, semblable au calcaire de Biskra. Ce calcaire s'est prolongé jusqu'à 29^{m}.50; ces 2^{m}.30 de terrain ont nécessité de nombreuses réparations aux trépans, qui étaient usés après une heure de travail. Le 25 mars, le sondage avait atteint une profondeur de 52^{m}.60, les premiers éboulements se sont fait sentir, ils provenaient des argiles bigarrées rouges et bleues, qui sont de 36 à 39 mètres. On s'est décidé alors à procéder au tubage au moyen d'une colonne de 0,30 intérieur, qui est successivement descendue jusqu'à 47^{m}.20.

Le sondage s'est poursuivi jusqu'au 4 avril, où il avait atteint la profondeur de 78 mètres; des éboulements survenus à 65 mètres ont forcé de recourir à un nouveau tubage au diamètre de 0^{m}.25. La colonne, après s'être arrêtée à 70 mètres, a été poussée

jusqu'à 74m.80; on a repris l'approfondissement le 8 avril; enfin, le 22 on était à 102 mètres de profondeur, lorsqu'il fut décidé que ce sondage serait abandonné, au moins provisoirement. La colonne de 0,25 a été poussée jusqu'à 84 mètres.

Les terrains traversés ont été les suivants :

1	Sable jaune un peu argileux avec gypse terreux.	2m,00	2m,00
2	Sable rouge très-argileux et gypseux.	8 80	10 80
3	Sable jaune et blanc très-dur avec gypse.	3 55	14 35
4	Argile rouge très-gypseuse et très-dure	5 65	20 00
5	Sable rouge argileux avec gypse	3 80	23 80
6	Gypse terreux très-dur.	1 00	24 80
7	Sable jaune un peu argileux avec gypse	0 40	25 20
8	Poudingue de gypse et sable calcaire	0 30	25 50
9	Id. Id. sable jaune.	0 70	26 20
10	Id. de sable calcaire jaune de gypse et d'argiles rouges très-dures.	1 00	27 20
11	Calcaire blanc siliceux avec lames spathiques désigné par erreur comme grès.	2 30	29 50
12	Poudingue de sable et de gypse très-dur avec couches d'argiles rouges et gypseuses.	1 05	30 55
13	Argile jaune très gypseuse	1 50	32 05
14	Argile rouge gypseuse.	3 95	36 00
15	Argile plastique bigarrée de rouge et de bleu.	4 50	40 50
16	Sable gris et bleu un peu argileux.	3 00	43 50
17	Argile jaune un peu sableuse.	2 63	46 13
18	Argile jaune un peu sableuse et gypseuse	10 12	56 25
19	Sable rouge très-gypseux	4 35	60 60
20	Sable jaune un peu argileux très-gypseux.	3 50	64 10
21	Argile rouge un peu sableuse très-gypseuse.	3 75	67 85
22	Argile jaune sableuse très-gypseuse.	1 30	69 15
23	Argile jaune avec gypse.	4 25	73 40
24	Sable jaune argileux très-gypseux	4 60	78 00
25	Sable jaune argileux.	5 80	83 80
26	Argile jaune compacte avec gypse	2 20	86 00
27	Sable jaune argileux.	2 70	88 70
28	Argile jaune sableuse et gypseuse	13 30	102 00

L'eau a conservé du commencement à la fin des travaux un niveau constant à 10m.80 au-dessous du sol.

Le terrain a présenté la plus grande similitude avec ceux rencontrés à El-Fayd. Le gypse cristallisé, plus près du point de départ des formations miocènes auxquelles il a été arraché, s'est

conservé en fragments plus nombreux et plus volumineux. C'est à peu près la seule différence que l'on puisse remarquer à la vue de la série des échantillons pris à l'un et à l'autre des sondages. Ce que nous avons dit d'El-Fayd s'applique à Saàda, qui, plus encore que ce dernier, doit être dans une faille ou s'en rapprocher. La rencontre d'un calcaire, qui probablement doit n'être qu'un bloc isolé très-volumineux, viendrait appuyer cette hypothèse d'une dislocation voisine de l'axe du trou de sonde. Ce calcaire présente la plus grande analogie avec ceux de la lisière du Sahara, de Zaatcha à Biskra.

Cette persistance de l'eau à rester invariablement à 10m.80 au-dessous du sol pendant toute la durée des travaux indique le manque absolu de la rencontre d'une nappe aquifère, si faible qu'elle puisse être. Ce sondage, poussé à une profondeur qu'il est malheureusement impossible de déterminer même approximativement, donnerait probablement comme El-Fayd un résultat. Il y a lieu de penser qu'il est plus en plein dans la faille, et que l'Oued-Djedi indique à peu près la direction de cette faille, ou, s'il y en a plusieurs, celle de la principale.

Cette immense vallée de l'Oued-Djedi paraît être le lit d'un ancien courant qui, comblant peu à peu son fond et ses flancs, a dû avoir pour origine une faille, et le lit actuel de la rivière, après s'être soulevé successivement, semble avoir persisté dans la direction originaire.

Il faudrait donc traverser toute l'épaisseur des terrains supérieurs pour arriver aux terrains miocènes qui se relèvent à Doucen, se manifestant au voisinage de la surface à Djedi-Bellamare, recouverts par les cailloux roulés, et au Rabah des Ouled-Djellal. Ces terrains miocènes, apparaissant dans ces localités, ont été plus ou moins soulevés par les mouvements du sol inférieur, mais sont restés en place, n'étant affectés que par des mouvements moins

violents, qui les ont seulement plissés et ondulés, comme on le voit à Doucen.

Aucun sondage sur la lisière nord du Sahara oriental n'a encore rencontré ces terrains inférieurs, même celui de El-Mekam, qui était dans la position la plus favorable pour cela.

S'il n'existait à Saâda une condition anormale dans le sol, il est probable que ce sondage aurait donné un bon résultat. L'Oued-Djedi, vers El-Raab, coule à une hauteur bien surpérieure à celle où est pratiqué le sondage de Saâda, et là commence seulement la superposition du terrain que nous explorons aux marnes miocènes, qui leur sont sont inférieures, et dont le faciès est facilement reconnaissable. Voici donc un point d'infiltration facile à déterminer à la partie supérieure de cette rivière, qui descend rapidement vers Saâda et de ce point au Chott Melr'ir. Sur une carte dressée par M. Robert, capitaine d'Etat-major, au mois d'août 1857, on signale dans le Chott, et près de l'embouchure de l'Oued-Djedi, des sources nombreuses et importantes. Cette rivière comme celles du Sahara, ne coule que quelques jours par année, surtout dans les parties basses. Les sources signalées ont-elles un écoulement constant? Cela semble probable, et, s'il en est ainsi, elles sont la révélation d'un courant souterrain analogue à celui que nous cherchons sur des points plus élevés, et qui nous échapperait par ce seul fait d'un écoulement plus facile à des niveaux inférieurs.

DEUXIÈME SONDAGE D'OULM EL THIOUR.

Zab Chergui.

Ce deuxième sondage, placé un peu à l'ouest du premier exécuté dans la campagne précédente, a présenté à peu près la même succession de couches sableuses et argileuses. Des nappes

successives ont été rencontrées dans ces différentes alternances; mais comme, éclairé par le premier travail, celui-ci marchait à un but déterminé, qui était la nappe la plus abondante, située à une profondeur de 79 mètres et donnant 150 litres par minute, on n'a signalé et observé que la première nappe ascendante à 5m.80 et la première nappe jaillissante de 48 mètres, donnant 20 litres par minute au premier forage. Cette nappe jaillissante n'a donné pendant ce nouveau travail que 12 litres, probablement parce que les tubes l'ont coupée avant qu'elle ait pu atteindre son maximum de développement.

Les nappes faibles, et celles qui proviennent d'un niveau hydrostatique peu élevé ou qui, circulant à travers des terrains peu perméables, se dégagent lentement, et souvent lorsque la sonde les a traversées et est entrée dans les couches inférieures, à moins qu'avec une pompe on opère une succion qui aide à leur dégagement en activant le courant qui les amène.

La nappe cherchée a été rencontrée exactement à la même profondeur qu'au premier forage et a donné la même quantité d'eau.

Les terrains traversés sont les suivants :

1	Sable rouge et cailloux roulés	0m,50	0m,50
2	Sable blanc quartzeux, gypse et silex roulés.	2 50	3 00
3	Sable rouge argileux avec gypse	3 00	6 00
4	Sable rouge quartzeux	5 00	11 00
5	Sable argileux très-dur	1 22	12 22
6	Sable rouge très-dur	5 48	17 70
7	Sable blanc avec gypse.	10 30	28 00
8	Sable rouge argileux très-dur.	2 50	30 50
9	Sable rouge.	2 80	33 30
10	Sable rouge très-argileux avec gypse	4 90	38 20
11	Argile rouge compacte.	2 62	40 82
12	Argile jaune avec gypse	3 68	44 50
13	Sable jaune argileux.	1 50	46 00
14	Sable gris quartzeux très-dur.	4 00	50 00
15	Sable rouge avec gypse cristallisé	3 60	53 60
16	Sable jaune argileux avec gypse	13 00	66 60
17	Sable rouge avec noyaux de calcaire	2 50	69 10

18 Sable rouge et gypse	2	30	70 40
19 Sable rouge avec quelques rognons de calcaire	7	00	78 40
20 Sable blanc quartzeux	1	40	79 80

La succession des nappes rencontrées dans ces terrains constitue un obstacle insurmontable aux puisatiers arabes ; au premier niveau ils seraient arrêtés. L'industrie européenne ne pourrait elle-même foncer un puits ordinaire ou de mine dans ces terrains qu'à l'aide des machines d'épuisement les plus formidables. La mission de fertiliser ces affreux déserts, qui séparent Biskra de l'Oued R'ir, est donc exclusivement réservée à la sonde. Réussira-t-elle partout ? Non, et on n'y a jamais songé. La coupure des affleurements et le voisinage des sources naturelles sur quelques points de l'énorme dépression occupée par le Chott ont toujours paru des obstacles sérieux et trop rapprochés de cette ligne, qui joint Biskra aux oasis de l'Oued-R'ir. Au reste, le dernier mot n'est pas encore dit sur les points où on a échoué, et des sondages jaillissants à Oum-el-Thiour et à Chegga prouvent que s'il existe des interruptions, des anomalies, elles ne sont que locales, et que des eaux circulent encore dans des conditions favorables pour être recherchées facilement. Cette longue distance sans eaux est déjà divisée en trois par la présence de ces fontaines.

SONDAGE DE KSOUR.

Oued-R'ir.

Le sondage d'El Ksour, un peu à l'est de la ligne qui joint Tougourt à Sidi Rached, est dans une position complètement analogue à ce dernier point, si ce n'est peut-être à une altitude un peu supérieure ; aussi le résultat, quoique encore fort beau, est-il inférieur. Ce puits donne 3,336 litres d'eau par minute. Il a été pratiqué au fond d'un puits arabe de 46^{m},54 de profondeur, qui avait traversé :

1	Remblais	1m,20	1m,20
2	Terre végétale argileuse.	1 00	2 20
3	Sable rouge argileux.	3 80	6 00
4	Argile jaune.	1 80	7 80
5	Argile rouge gypseuse.	1 50	9 30
6	Argile rouge plastique.	1 10	10 40
7	Argile rouge sableuse.	1 20	11 60
8	Argile rouge compacte	0 40	12 00
9	Argile rouge jaunâtre avec gypse.	4 40	16 40
10	Sable blanc argileux.	6 00	22 40
11	Argile jaune	4 00	26 44
12	Argile rouge avec quelques silex	4 04	30 40
13	Argile rouge compacte	3 00	33 44
14	Argile rouge et gypse cristallisé.	2 60	36 04
15	Sable blanc argileux.	3 00	39 04
16	Argile rouge avec gypse.	3 60	42 64
17	Argile rouge compacte	3 40	46 04
18	Sable blanc quartzeux.	0 80	46 84

Aussitôt que les Arabes eurent touché ces premiers sables, qui contiennent une première nappe donnant seulement 20 litres par minute, au sol, mais qui à cette profondeur surgit avec une grande violence, ils furent obligés d'abandonner les travaux. Une colonne de tubes de 0m,20 de diamètre a donc été descendue dans cette excavation, et après avoir traversé les sables qui se trouvaient au fond, on a rencontré les terrains suivants qui complétent la coupe :

19	Argile rouge	1m,20	48m,04
20	Sable blanc quartzeux.	0 60	48 64
21	Marne blanche argileuse	1 00	49 64

Les eaux contenues dans cette seconde couche de sables blancs quartzeux ont surgi avec violence et ont amené au-dessus du sol un volume de 3,336 litres par minute.

SONDAGE DE SIDY SLIMAN.

Ce sondage, placé comme le précédent à l'est de la ligne qui joint Tougourt à Sidy Rached, mais plus rapproché de ce dernier, et probablement à une altitude plus basse sur l'un des courants

les plus favorables à l'obtention des eaux jaillissantes, a donné 4,000 litres à la minute au-dessus du sol.

Il a traversé les couches suivantes :

1	Remblais	1m,00	1m,00
2	Sable rouge et gypse	18 00	19 00
3	Argile rouge avec gypse et sable	2 00	21 00
4	Argile rouge avec gypse	2 62	23 62
5	Argile jaune avec gypse	10 32	33 94
6	Sable rouge argileux	4 20	38 14
7	Argile grise avec gypse	4 08	42 22
8	Argile rouge compacte	3 99	46 21
9	Argile rouge marbrée	2 48	48 69
10	Argile plastique rouge	6 08	54 77
11	Sable blanc gris et rouge	2 33	57 00
12	Sable rouge et gypse cristallisé	2 70	59 70
13	Sable argileux blanc et rouge	1 30	61 02
14	Sable blanc argileux	2 15	63 15
15	Sable rouge avec quelques rognons calcaires	3 76	66 91
16	Sable rouge quartzeux avec plaquettes de grès	8 06	74 97

Une colonne de 0m,20 de diamètre a été descendue jusqu'à 74m,80.

Ce sondage et celui de Ksour, de même que les puits des oasis de la Thébaïde dans la haute Egypte peu de temps après leur achèvement, ont présenté le singulier phénomène de poissons qui habitent leurs eaux. Cet énorme courant donne-t-il lieu à la création de canaux souterrains assez vastes pour que des poissons puissent y circuler, ou bien est-ce à l'état de frai que l'eau les amène et la reproduction a-t-elle lieu dans le canal d'irrigation ? C'est une question à étudier. Ce phénomène, au reste, ne s'observe presque jamais, nous le croyons, au moment même du jaillissement.

SONDAGE DE BRAM, PRÈS SIDY RACHED.

Oued-R'ir.

Ce sondage a été pratiqué dans une de ces nombreuses exca-

vations que les Arabes commencent et abandonnent souvent lorsque des eaux parasites viennent les forcer à un épuisement quelconque. Et il ne faut pour cela que le voisinage d'un ancien puits laissant échapper l'eau par son boisage.

Le cuvelage de ce puits existait du sol à 12 mètres et avait traversé :

1	Remblais	1m,00	1m,00
2	Terre végétale grise sableuse	4 00	5 00
3	Sable rouge argileux	3 00	8 00
4	Argile rouge et gypse	6 00	14 00

On était donc resté dans cette dernière couche, que la sonde a traversée; au-dessous on a rencontré :

5	Argile rouge compacte	2m,00	16m,00
6	Sable argileux avec gypse	5 00	21 00
7	Argile rouge compacte	4 00	25 00
8	Argile jaune avec gypse	6 00	31 00
9	Sable rouge argileux	1 00	32 00
10	Argile rouge sableuse	5 00	37 00
11	Argile rouge compacte	5 00	42 00
12	Argile rouge avec gypse	3 00	45 00
13	Calcaire blanc (douteux)	2 00	47 00
14	Sable blanc quartzeux	0 60	47 60
15	Marne blanche	1 00	48 60

Une colonne de tubes de 0m,20 descend du sol à 47 mètres et donne passage à une nappe jaillissante déversant 2,000 litres d'eau par minute.

SONDAGE DE MR'ARA.

Oued-R'ir.

Le sondage de Mr'ara est une de ces tentatives hasardées que le manque absolu d'eau permet quelquefois, et qu'un heureux hasard favorise rarement. Ce point, à 20 kilomètres à l'ouest de Tamerna, est à une altitude de plus de 85 mètres: les sondages de l'Oued-R'ir ne dépassent guère l'altitude de 58 à 60 mètres, et

c'est au-dessous de cette ligne qu'ont toujours été obtenus les succès.

C'était donc trop haut pour les nappes connues, et comme les pendages des hauts plateaux des Harazlia et des Larba se dirigent plutôt vers le bassin de Ouargla, il y avait peu à espérer des nappes supérieures comme à Chegga.

On a trouvé :

1	Terre végétale	0m,30	0m,30
2	Sable blanc terreux avec rognons de calcaire	4 70	5 00
3	Sable rouge avec quelques silex et gypse cristallisé	1 50	6 50
4	Sable rouge avec quelques plaquettes de grès	8 58	15 08
5	Sable rouge avec gypse et quelques rognons calcaires	2 23	17 31
6	Id. Id. plus tendres.	0 27	17 58
7	Sable rouge gypseux avec quelques rognons calcaires.	4 42	22 00
8	Sable rouge avec quelques rognons de calcaire blanc.	1 00	23 00
9	Calcaire blanc et rouge	1 00	24 00
10	Calcaire, cailloux roulés, sable blanc et rouge argileux.	3 00	27 00
11	Sable blanc très-gras avec cailloux roulés	0 90	27 90
12	Sable blanc et rouge avec quelques rognons de calcaire.	3 10	31 00
13	Sable rouge fluide quartzeux	6 30	37 30
14	Id. Id. un peu argileux	2 10	39 40
15	Sable rouge quartzeux avec plaquettes de grès	3 60	43 00
16	Sable rouge	10 00	53 00
17	Sable rouge et blanc très-gras avec quelques rognons calcaires	1 20	54 20
18	Marne blanche et rose avec rognons calcaires	1 80	56 00
19	Sable rouge fluide	2 00	58 00
20	Marne blanche et rognons de calcaire blanc	3 80	61 80
21	Marne blanche et sable rouge	2 20	64 00
22	Sable blanc et rouge avec gypse cristallisé	2 60	66 60
23	Sable blanc argileux Id. Id.	2 96	69 56
24	Sable blanc et rouge Id. Id.	3 44	73 00
25	Sable blanc argileux et gypse	2 00	75 00
26	Sable lie de vin et gris avec gypse	5 00	80 00
27	Argile micacée verte, noire et très-compacte	3 70	83 70
28	Sable gris très-dur avec gypse et plaquettes de grès	13 75	97 45
29	Sable quartzeux fétide	10 35	107 80

Comme on le voit, plusieurs des couches signalées peuvent se réunir en une seule; elles ne présentent que de très-légères différences dans leur faciès. Plusieurs d'entre elles offrent une dis-

cordance très-grande avec celles qui caractérisent d'une manière si uniforme tous les autres sondanges.

Le niveau des eaux s'est maintenu à $34^m,30$ au-dessous du sol ou à $48^m,70$ au-dessus du niveau de la mer.

Une colonne de $0^m,20$ a été descendue à $97^m,21$.

SONDAGE DE METKAOUAK.

Hodna.

Le bassin du Hodna est dans une magnifique position géologique, quoique assez élevée au-dessus du niveau de la mer. Par la disposition extérieure de la cuvette, on pouvait prévoir qu'elle était complétement fermée, ou que, si elle communiquait au Sahara, ce n'était que dans des conditions qui laissaient encore toute chance de succès, ne pouvant donner lieu qu'à un écoulement supérieur au niveau inférieur de la plaine.

On a dans le Hodna une répétition en miniature des mêmes phénomènes qui se présentent au Sahara; la succession des couches traversées par la sonde suit un ordre à peu près semblable et elles se composent des mêmes éléments, comme nous le verrons plus loin.

Ce vaste bassin est entouré de montagnes fortement relevées qui appartiennent à la formation crétacée; ainsi le Djebel Arif présente les fossiles suivants, et appartient à la série montagneuse qui sépare cette plaine du Sahara.

Hemipneustes africanus.
Cyphosoma Delamareï.
Spondylus histrix.
Cardium sulciferum.
Voluta Guerangeri.
Pyrula cretacea.

Volute indéterminée.

Inoceramus regularis.

Quelques lambeaux tertiaires surgissent ou sont restés comme témoins isolés de l'ancienne formation qui occupait cette dépression, qui a été ravinée et comblée en partie par un terrain semblable à celui que l'on retrouve au désert, seulement avec quelques calcaires roulés et quelques très-petits fragments de lignites pyriteux. Deux de ces lambeaux tertiaires sont caractérisés l'un, le Djebel-Felley, par :

Ostrea crassissima.

Pecten indéterminable.

Ces fossiles appartiennent au terrain tertiaire.

L'autre, le Coudiat Asfor, est plus récent, on y trouve :

L'Helix acquensis.

Il y avait donc lieu de supposer que la cuvette secondaire dans la plaine n'avait pas de dérangement sensible, que les terrains modernes pouvaient y acquérir une grande profondeur et qu'un coup de sonde pratiqué vers les points bas, c'est-à-dire vers la région où les Chotts reçoivent le tribut des eaux qui descendent des montagnes et traversent cette plaine, pouvait donner d'heureux résultats.

Un sondage a donc été commencé le 3 mai 1858 à Metkaouak, près l'Oued du même nom et non loin du petit Chott. Le premier coup de sonde a été donné par le capitaine Aublin, adjoint au bureau arabe de Batna, et par Sidy Moktard, caïd de Barika. Une première nappe ascendante a été trouvée à $3^m,70$; le niveau des eaux ordinaires, qui était de $3^m,40$ au-dessous du sol, a monté de $0^m,20$, c'est-à-dire à $3^m,20$.

A $11^m,50$, les terrains éboulent du sol; à cette profondeur on tube au diamètre de $0^m,30$. Le sondage se poursuit, ainsi que le tubage; le 12 mai il était à 39 mètres et la colonne de tubes à

16 mètres. De nouveaux éboulements se font à 30^{m},40; quelques nettoyages ont suffi pour les vaincre. A 44 mètres, on a rencontré une nappe ascendante, qui a amené le niveau d'eau à 2^{m},10 au-dessous du sol. Le sondage se poursuit sans arrêt jusqu'à 48^{m},50; là, de nouveaux éboulements à 17 mètres se manifestent, la sonde est retenue prisonnière et ne remonte qu'avec le secours des vis, surtout lorsqu'elle se trouve aux passages situés à 39 mètres, à 28 mètres et à 17 mètres. On prolonge le tubage pour masquer ces nouveaux éboulements; le 20 mai le sondage est à 50^{m},60 et le tubage à 24 mètres. A 51^{m},70 on rencontre une première nappe jaillissante donnant 7 litres par minute à une température de 19° centigrades; on tube au diamètre de 0^{m},25 jusqu'à 50 mètres; à 58 mètres, une seconde nappe jaillissante donnant également 7 litres par minute; et enfin, à 63 mètres, une troisième nappe donnant 15 litres par minute à 19°5 centigrades, et une quatrième donnant 6 litres à 75^{m},90. Ces trois dernières nappes appartiennent sans aucun doute au même niveau aquifère.

A 82^{m},80, une cinquième nappe jaillissante, donnant 18 litres par minute à 20° centigrades, se manifeste et donne lieu à de nouveaux éboulements, qui, joints à l'ensablement par les nappes supérieures, nécessitent la prolongation du tubage, qui est poussé jusqu'à 62^{m},30, coupant ainsi toutes les nappes supérieures. Le sondage se poursuit jusqu'à 90^{m},80; là encore de nouveaux éboulements surviennent; la colonne de 0^{m},25 ne pouvant plus marcher, on descend celle de 0^{m},20 qui s'arrête à 82 mètres, puis descend avec les nettoyages jusqu'à 90^{m},30.

Le 11 juin on reprend l'approfondissement, et le 17 on atteint la profondeur de 103^{m},60, où une nouvelle nappe jaillissante amène au sol 5 litres par minute à 21°5. Les tuyaux sont poussés à 105^{m},80; enfin, à 111 mètres une nappe donnant 50 litres à une température de 23°2 arrive au sol. Le sondage est poussé jusqu'à 124^{m},10. Cette profondeur était atteinte le 2 juillet; et, les

chaleurs ne permettant plus un travail convenable, on arrête les travaux de cette campagne avec l'espoir de les reprendre à l'automne.

Les terrains traversés sont les suivants :

1	Terre végétale	1m,20		1m,20	
2	Sable gris quartzeux très-fluide	3	»	4	20
3	Argile grise très-sableuse	0	50	4	70
4	Sable gris un peu argileux et gypseux	1	»	5	70
5	Sable jaune, bleu et blanc très-dur	2	»	7	70
6	Sable quartzeux jaune un peu argileux avec cailloux roulés	7	70	15	40
7	Sables quartzeux agrégés très-durs	3	80	19	20
8	id très-fins	1	70	20	90
9	Argile marbrée bleue et jaune avec traces de pyrites	8	50	29	40
10	Sable gris et bleu	1	»	30	40
11	Argile marbrée grise et jaune	4	40	34	80
12	Sable bleu et jaune argileux	3	50	38	30
13	id. gris et jaune argileux	0	90	39	20
14	Argile marbrée bleue et noire avec quelques lignites	1	80	41	00
15	Sable argileux gris et bleu	1	00	42	00
16	Sable jaune argileux avec quelques cailloux roulés	1	00	43	00
17	Sable gris quartzeux	1	00	44	00
18	Argile bleue et grise	7	70	51	70
19	Argile grise sableuse avec veinules de sable	7	00	58	70
20	Sable jaune et blanc très-fin	6	00	64	70
21	Sable rouge et bleu	11	00	75	70
22	Sable gris quartzeux	0	20	75	90
23	Sable rouge et bleu argileux avec rognons de calcaire blanc	2	80	78	70
24	Sable argileux jaune et bleu très-fin	2	70	81	40
25	Sable blanc et gris un peu argileux avec cailloux roulés.	1	90	83	30
26	Sable rouge argileux avec quelques petits cailloux roulés.	4	20	87	50
27	Sable graveleux jaune et bleu	4	80	92	30
28	Marne argileuse jaune et blanche	0	70	93	00
29	id. un peu sableuse	6	50	99	50
30	Sable jaune et bleu très-fin avec cailloux roulés	2	00	101	50
31	Argile rouge sableuse	3	40	104	90
32	Sable jaune-gris très-fin avec cailloux roulés	2	90	107	80
33	Argile rouge très-sableuse	2	40	110	20
34	Sable rouge et gris quartzeux avec cailloux roulés	1	60	111	80
35	id. id. un peu argileux id.	3	70	114	50
36	id. id. avec beaucoup de cailloux roulés.	6	60	121	10
37	Sables jaunes agglutinés avec quelques cailloux roulés qui vont probablement jusqu'à 126m,80 (le journal a une lacune).				

Ce sondage a été repris le 12 novembre; il a fallu de nombreux voyages pour dégager le puits des sables qui l'encombraient, on a poussé la colonne de $0^m.20$ à $125^m.60$; le 19, le forage était à 127 mètres, il a atteint le 26 la profondeur de 135 mètres, sans autre accident qu'une rupture de chaîne. La sonde est alors entrée dans cette profondeur jusqu'à $140^m.90$ dans des sables aquifères, qui ont amené au sol successivement une quantité d'eau, qui, de 15 litres par minute, s'est élevée à 590 pendant leur traversée. On a prolongé la colonne jusqu'à $136^m,60$. Cette nappe a donné de grandes difficultés pour son dégagement; les sables sont doués d'une grande mobilité, et il a fallu en extraire une grande quantité pour capter un écoulement continu de 400 litres par minute. Les expériences sur la force ascensionnelle du jaillissement, faites après le bétonnage de la colonne, ont donné les résultats suivants :

Au sol.	400	litres par minute.
A 1 mètre de hauteur	400	id.
A 1 mètre 50	400	id.
A 1 mètre 80	400	id.
A 2 mètres	400	id.
A 2 mètres 50.	400	id.
A 3 mètres	859	id.

Les terrains traversés par la suite de ce sondage sont, en suivant la série adoptée :

38	Sable jaune argileux avec rognons de calcaire jaune . .	$1^m,45$	$128^m,25$
39	Sable jaune quartzeux.	3 45	131 70
40	Sable rouge agglutiné avec quelques cailloux roulés de calcaire jaune très-dur.	3 50	135 00
41	Sable jaune quartzeux plus ou moins fin avec quelques cailloux roulés.	5 90	140 90

Ce premier résultat dans le Hodna donne lieu d'espérer que cette magnifique plaine pourra devenir un des plus beaux centres agricoles de l'Algérie.

Si l'on jette les yeux sur la série des échantillons recueillis dans tous ces sondages, on est bien convaincu que tous ces ter-

rains appartiennent à ces agglomérations formées des sédiments que les eaux dissolvent en traversant des masses minérales, ou qu'elles arrachent continuellement aux montagnes, par les pluies, les rivières ou les torrents, pour les transporter sur les bords ou au fond des bassins.

L'arrangement de tous ces matériaux sur un fond irrégulier, ondulé, disloqué ou fissuré en certaines parties, donne le champ libre à une foule d'hypothèses plus ou moins admissibles, que les sondages viennent appuyer ou renverser. A mesure que ces travaux se multiplieront, ils fourniront des moyens d'observations et de comparaison, qui, groupés ensemble, éclaireront des questions jusque-là fort obscures, et guideront peut-être d'une manière plus sûre dans la marche la plus avantageuse à suivre pour éviter des échecs. En dehors des sondages, une étude sérieuse du lit de toutes les rivières, ou tout au moins des principales rivières qui descendant des montagnes, se jettent ou se perdent au Sahara, serait une œuvre très-utile. Il s'agirait de consigner exactement tous les changements de terrains que présentent les berges et les points où ces rivières disparaissent de la manière la plus brusque, lorsque les eaux cessent d'y couler. Cette étude permettrait de reconnaître, au moins pour la zône qui borde nos possessions, une série de points d'infiltration, leur hauteur, et surtout aussi la nature des couches perméables.

Ainsi, nous voyons, par les sondages pratiqués sur la lisière nord, des nappes particulières se développer comme à Oum-el-Thiour et à Chegga, et donner des eaux jaillissantes qui n'ont aucun rapport avec la nappe unique que l'on trouve dans l'Oued-R'ir. Effectivement, ces nappes supérieures peuvent exister sur les bords du bassin, sans se prolonger au loin, et rester enfermées entre deux lits argileux, se réunissant à une certaine distance de leur point d'origine, laissant entre eux une couche perméable sableuse, en forme de coin, contenant des eaux sou-

mises à la pression hydrostatique due à la hauteur du point d'infiltration. Cette disposition s'explique aisément : tandis que des sables, gros et lourds aux points voisins de leur origine, diminuent de violence à mesure qu'ils s'en éloignent et que le courant qui les transporte a moins de force, les argiles plus légères sont transportées plus loin, recouvrent les sables d'abord vers l'extrémité, prenant d'autant plus d'épaisseur que leur ténuité les a rendues plus facilement transportables par de faibles courants ; aussi s'accumulent-elles sur les points les plus bas, comme à El-Fayd. Si le courant diminue d'intensité, les argiles s'arrêtent de plus en plus près du point de départ, et finissent par recouvrir et enfermer la couche sableuse.

Les neuf sondages que nous venons de signaler, ajoutés aux six de la campagne précédente, forment un total de quinze puits, sur lesquels onze ont donné des résultats satisfaisants. Deux, El Mekam et M'rara, étaient évidemment placés trop haut, et on devait plus ou moins s'attendre au résultat obtenu. Quant à El Fayd et Saàda, le premier surtout de ces deux points n'a pas répondu aux espérances que nous avions conçues, et renverse notre hypothèse première. Au Sahara plus qu'ailleurs, on ne doit avancer qu'avec doute telle ou telle opinion, et surtout se garder de prendre des idées préconçues comme prisme, et de chercher à voir au travers des confirmations plus ou moins forcées de ces premiers travaux.

Ces onze premiers résultats répandent sur le sol africain et sans interruption, 19,120 litres d'eau à la minute, soit par vingt-quatre heures 27,534 mètres cubes, plus du quart de la quantité d'eau qu'on se proposerait d'apporter à Paris par l'immense aqueduc de la Somme-Soude. Le produit d'une année serait donc de 10,059,910 mètres cubes, qui, vendus au prix auquel on prétend que l'eau serait amenée à Paris, 0,05 c., représenteraient 502,995 fr. 50 c. de revenu.

On n'a pas dépensé 200,000 fr. au Sahara, on en est même encore loin; mais, en acceptant ce chiffre et portant même pour amortissement 5 0/0, il suffirait, pour trouver le revenu nécessaire, pour rentrer en moins de dix ans dans ses dépenses, de vendre le mètre cube d'eau 0,002, puisqu'elle ne revient réellement pas à 1/10 de centime (1).

Nous croyons qu'au Sahara l'eau doit avoir autant de valeur qu'en France, et que, si ce qui existe était à créer, on n'hésiterait pas à dépenser des sommes énormes, convaincu que l'on est aujourd'hui de l'importance de tels résultats.

Ces résultats ont été obtenus avec les appareils les plus simples, légèrement modifiés par les circonstances, et non par les appareils que nous employons pour les grandes profondeurs. On voit, en examinant les coupes, qu'il n'y avait pas lieu à leur emploi; nous avons reconnu depuis longtemps que le système unique en sondage est un péché contre le bon sens.

Le général Desvaux, considérant ces premiers travaux comme les prémices d'un développement très-grand pour l'Algérie, nous demanda de les organiser dans les conditions les plus favorables aux ressources dont il pouvait disposer, d'en faire moins une affaire industrielle qu'une application honorable pour notre industrie. Nous nous associâmes de grand cœur à ses vues; nous livrâmes les équipages de sondes aux prix ordinaires de nos tarifs, et même un peu réduits pour certains objets; nous acceptâmes sans aucune rénumération la direction de ces travaux; M. Jus, l'un de nos jeunes directeurs de sondage, que son zèle et sa capacité dans les travaux que nous lui avions fait diriger depuis sa

(1) Nous apprenons en effet que la dépense totale faite jusqu'à ce jour est de 166.677 fr. 08 c., dont il faut déduire pour matériel disponible en bon état, 57, 248 fr. 15 c.; ce qui laisse pour dépense réelle 109,429 fr. 53 c. Avec cette somme on a fait vingt-trois sondages donnant un débit total de 29,486 litres à la minute, ou 15,107,841 mètres cubes par an. Le prix de revient du mètre de forage tube et betonne, pour un total de 1904^{m}01, est de 57 fr. 47 c.

sortie de l'école d'Angers nous désignaient comme l'un des hommes les plus propres à bien nous seconder dans ces forages lointains, fut envoyé sur place.

Nous avons reçu, jusqu'à présent, les témoignages les plus flatteurs de tous ceux qui s'intéressent à l'avenir de l'Algérie, et officiellement du maréchal Randon et du général Desvaux. Tous les rapports adressés aux ministres de la guerre, ou de l'Algérie et des colonies, nous ont appris quel grand cas on fait du zèle et de l'habileté de M. Jus. Nous croyons donc hautement avoir rempli la mission qui nous était confiée, et la continuerons avec la même régularité et la même ardeur tant qu'on nous en jugera dignes.

Nous avions espéré être chargé de nouveaux travaux pour la province d'Alger. M. le gouvernenr-général Randon avait prié M. Ville, ingénieur des mines à Alger, de se mettre directement en rapport avec nous pour cet objet. Une correspondance à ce sujet fut échangée en juin et juillet 1858. Nous proposâmes, comme pour la province de Constantine, la vente d'un matériel de sondage. Mais cette fois, pour nous indemniser de la cession de nouveaux agents et du temps employé à la direction *matérielle* de ces travaux, l'administration des mines, désirant conserver la haute direction, c'est-à-dire de fixer les points où ces travaux devaient être exécutés, leur profondeur maximum et le contrôle de dépense, nous stipulâmes une prime pour chaque sondage, que nous répartissions comme suit :

10 francs par mètre du sol		à 100 mètres	1,000 fr.
15	id.	de 100 à 200 mètres	1,500
20	id.	de 200 à 250 mètres	1,000
25	id.	de 250 à 300 mètres	1,250
		Soit pour 300 mètres	4,750 fr.

Ces primes, appliquées aux forages exécutés jusqu'ici au

Sahara oriental, auraient produit une somme de 19,000 fr. environ en quatre ans, et certes nous ne comptons pas que la province d'Alger soit plus favorable aux sondages que celle de Constantine.

Ces chiffres, d'ailleurs, en demande, pouvaient être discutés; nous ne les croyons pas cependant ridicules, car ils sont moins avantageux que ceux qui nous ont été proposés par deux hommes habitués aux travaux de sondage, MM. Sauvage et Le Chatelier, ingénieurs en chef des mines, pour les quatre équipages de sonde que nous construisons en ce moment pour les chemins de fer russes.

Le gouvernement de l'Algérie fut soumis à une nouvelle organisation, et nous n'entendîmes plus parler de rien.

Quelque embarras que nous éprouvions à dire ce qui suit, nous ne pouvons cependant nous abstenir par la seule crainte de blesser quelques susceptibilités, de témoigner notre étonnement d'une détermination qui serait prise à l'heure qu'il est, au moins pour la province d'Alger, et des projets que l'on tente sur celle de Constantine.

Malgré le peu de bruit que nous avons fait au sujet des travaux du Sahara, en dehors des documents que nous avons soumis à votre Société et à la Société géologique de France, la publicité des rapports officiels a été assez grande pour qu'un concurrent ait cherché à prendre notre place, en fascinant les hommes chargés du choix des moyens d'exécuter ces forages, par les promesses d'une exécution beaucoup plus brillante et moins couteuse. Ces offres seraint acceptées, dit-on, pour la province d'Alger, et seraient en question pour le Sahara de la province de Constantine.

Nous ne sommes peut-être pas en droit de nous plaindre des décisions prises par des hommes que nous devons regarder comme très-savants, et si leurs sympathies se portent sur d'autres pro-

cédés que les nôtres, nous devons croire que c'est après mur examen et connaissance complète de tout ce qui est fait par nous ou par d'autres, et que bientôt ils nous donneront nettement les motifs de leur préférence.

Nous savons qu'autant les essais sont en horreur peut-être trop grande chez les industriels pratiques, autant ils sont peut-être trop favorablement accueillis par les théoriciens. Nous humilions volontiers notre jugement devant l'approbation des savants, mais, en vérité, l'honneur de ces essais nous semble appartenir bien davantage aux courageuses bourses qui en font les frais.

Si nous croyons devoir nous justifier par avance, aux yeux de nos amis et des hommes impartiaux, des motifs du retrait qui nous serait fait des travaux algériens, c'est moins pour nous plaindre que pour bien établir que nous sommes les premiers à avoir promené avec succès la sonde européenne au milieu du Sahara. Ce que nous avons fait, d'autres le feront sans doute, et nous ne serons jamais jaloux des palmes qu'ils pourront recueillir.

La petite somme de connaissances que nous avons pu acquérir ne peut, d'ailleurs, nous être enviée, et nous nous abstenons de croire à ces esprits fâcheux qui, souvent malheureux dans leurs entreprises, veulent empêcher au moins les autres de faire.

Nous devons nous justifier encore ici du reproche qui nous est souvent adressé, par quelques amis sincères et zélés, du peu de divulgation que nous donnons à nos travaux. Nous ne contestons certainement pas toute la valeur de cette puissance qu'on appelle la publicité. Mais, sans même parler des charlatans, quelques fanfarons d'industrie savent trop habilement en profiter pour que nous voulions l'employer en dehors des règles suivantes qui sauvegardent contre ces supercheries grossières dont on rencontre tant de victimes.

Assister à tous les concours industriels auxquels nous sommes

conviés, y soumettre nos outils, nos travaux, et, dès lors, accepter les décisions des jurys spéciaux appelés à nous juger, renvoyant ainsi ceux qui veulent s'éclairer à la publication de leurs rapports ; répondre à toutes les questions qui nous sont adressées par les hommes appartenant à l'Institut ou à d'autres corps savants, telle est notre règle de conduite.

Cela fait, nous croyons avoir accompli tout ce qui est compatible avec nos travaux, nos études et notre expérience. En agissant ainsi, nous avons fait ce qui dépend de nous : le reste dépend des autres.

L'INDUSTRIE DES RÉSINES

ET

FABRICATION DE L'ESSENCE DE TÉRÉBENTHINE

Par M. Camille TRONQUOY.

L'industrie des résines est tout agricole ; elle est, pour ainsi dire, la seule richesse du pays qui s'étend entre Bordeaux et Bayonne, sur une longueur de quarante à quarante-cinq lieues, et une largeur moyenne de vingt lieues environ ; elle est des plus simples, mais demande certains soins qui, jusqu'à présent, ont été généralement négligés.

Les produits de cette industrie sont nombreux, ainsi qu'on peut s'en assurer en jetant un coup d'œil sur le tableau ci-après, emprunté à une brochure parue en 1840, sous le titre de *Voyage dans les Landes de Gascogne, et Rapport à la Société royale et centrale d'Agriculture sur la colonie d'Arcachon, par le baron Mortemard de Boiste* (1).

(1) Les renseignements relatifs à la culture du pin sont également extraits de cette brochure.

Produits de l'exsudation des pins.	Résine molle Gemme		Matière pâteuse récoltée avec un mélange de petit bois, de sable, de terre, etc.
	Résine concrète	Galipots Barras	Matières adhérentes à l'arbre.
Produits de l'épuration des résines molles récoltées brutes.	Térébenthine		Commune ou pâte de térébenthine au soleil. Fine de Venise.
Produits de la distillation des résines molles et des résines concrètes à une chaleur modérée (ordinairement par l'addition de l'eau dans les appareils de distillation).	Vapeur condensée		Huile ou essence de térébenthine.
	Résidus	Brais secs Arcanson ou Colophane	qui, brassés avec de l'eau et mêlés avec 15 ou 20 % de barras, donnent la résine jaune.
Produits de la distillation des résines à une chaleur violente.	Vapeur condensée		Huile de résine (1).
	Résidus		Charbons ou goudrons très-secs.
Produits obtenus par la combustion directe des bois de pin ou des débris de manipulation.	Liquides		Goudrons.
	Concrets		Brais gras, poix ou peggs.

Le point de départ de l'industrie des résines est la culture du pin. C'est à Colbert qu'on doit le développement qu'a pris dans les Landes cette culture, développement qu'il encouragea de tout son pouvoir dans l'intérêt de la marine, affranchissant ainsi la France d'un tribut qu'elle payait à la Suède pour les résines et les goudrons dont elle avait besoin. En 1638, des ouvriers suédois, appelés par Colbert, se fixèrent dans les Landes, et enseignèrent aux habitants la construction des fours à goudron, et les secrets de la fabrication des résines d'après les procédés connus dans le Nord.

Aujourd'hui, dans les Landes de Gascogne, plus de 140,000

(1) Cette opération ne se fait pas ordinairement dans les Landes; c'est seulement dans les villes industrielles ou près de ces villes qu'on rencontre des fabriques d'huile de résine.

hectares d'anciennes landes et de dunes sont plantés de pins, et chaque année des sommes considérables sont dépensées pour de nouvelles plantations, soit par l'État, soit par des particuliers, qui, dans un temps assez rapproché, trouvent un bénéfice assuré. En effet, le pin maritime peut se développer sur presque tous les sols ; il demande seulement de l'humidité et un support. A l'aide de quelques soins protégeant sa germination, le pin croît sur les sables les plus arides. (Il réussit mal lorsqu'on le plante sur les terrains calcaires et froids, et lorsqu'il est exposé aux vents, aux neiges et aux longues immersions dans l'eau.)

Cette essence de bois est parfaitement convenable pour donner de la valeur aux dunes et aux plaines sablonneuses qui forment le sol de la lande ; les plantations de pins servent de barrières aux sables qui envahissaient peu à peu le pays, et que l'ingénieur Brementier, vers 1787, réussit à fixer, tant par des clayonnages que par les semis de pins.

Le pin maritime se reproduit de trois manières :

1° Par dissémination naturelle ;

2° Par dissémination artificielle ;

3° Par plantation en motte.

La *dissémination naturelle* se fait au pied des arbres qui ont produit la graine, et qui protégent la germination et le développement de la jeune pousse en l'abritant des vents : c'est ainsi que se renouvellent les forêts de pins non cultivées, les vieux arbres se trouvant remplacés au fur et à mesure que l'âge les abat.

Pour la *dissémination artificielle*, on choisit ordinairement une lande, on y fait un écobuage, et l'on sème par paquets ou augets distants entre eux d'un mètre au plus dans tous les sens (il est bon de planter un peu serré) ; on met plusieurs grains dans chaque auget, que l'on recouvre ensuite de sable, puis de branchages, pour empêcher l'action du vent. Lorsque le sol est

propice, on arrive au même résultat en semant en même temps que des pins du genêt à balais.

La *plantation en motte* consiste à découper, autour du pied de jeunes pins poussés par dissémination naturelle, une motte solide comprenant dans sa masse tout l'appareil souterrain, et à transplanter; mais ce mode de culture n'est possible que dans des terrains tourbeux, où le sol peut se découper en mottes.

Lorsque les jeunes pins ont trois ou quatre ans, on arrache les moins forts, on élague les couronnes inférieures, de manière à laisser entre ceux qui sont conservés une distance de 2 mètres. Plus tard, lorsque les pins ont 10 à 15 centimètres de diamètre, on commence à résiner, c'est-à-dire à extraire la résine des pins qui doivent être supprimés. Jusqu'à vingt ans, on élague les pins en supprimant les couronnes les plus anciennes, et alors il ne reste plus, dans une pépinière bien soignée, que cent soixante à deux cents pieds d'arbres par hectare. Les arbres se trouvent donc à 7 ou 8 mètres les uns des autres.

C'est à vingt ans qu'on peut généralement commencer à résiner les pins; mais, dans quelques terrains, il faut attendre jusqu'à trente ou quarante ans. On admet que *tout pin est bon à résiner quand, en enroulant le bras droit autour du tronc à hauteur d'homme, on aperçoit ses doigts de l'autre côté.* Le tronc a donc alors à peu près 20 à 30 centimètres de diamètre.

Les produits qu'on obtient par le résinage des pins sont, comme nous l'avons vu plus haut :

Produits naturels : — 1° *La gemme ou résine molle,* mélange de résine et d'essence, toujours accompagné de matières solides étrangères, qui, amenées par le vent, viennent en altérer la pureté; la récolte se fait de mars en septembre;

2° *Les résines-crottes* ou *crottas*, mélange de résine molle et de galipot, recueilli, en septembre et pendant la première quinzaine d'octobre, au pied des arbres, dans les crots, et souillé de sable et de feuilles;

3° *Les galipots*, matière presque solide, qui forme des sortes de stalactites le long de l'arbre, par suite de l'évaporation d'une partie de l'essence;

4° *Les barras*, qui sont des galipots tout à fait secs, adhérant à l'arbre, et qu'il faut arracher avec un instrument en fer.

La récolte des barras et des galipots se fait en octobre, novembre et décembre.

Outils employés pour l'exploitation. — Pour l'exploitation des pins, l'ouvrier résinier, dans les *pignadas* ou bois de pins, a à sa disposition sept outils, savoir :

1° Une pelle en fer avec un tranchant en acier, dont le manche en bois a 90 centimètres : elle est employée pour les différents travaux à exécuter au pied des arbres;

2° Une cognée servant à écorcer les arbres;

3° Une barraquiste, sorte de binette avec un manche de 1 m. 50 cent., qui sert à la récolte des barras;

4° Une pousse, instrument assez semblable à une bêche dont la lame serait tout à fait triangulaire; le manche a 2 m. 40 c.: on l'emploie pour écorcer les arbres et en atteindre les parties élevées;

5° Une abschotte, espèce de cognée, dont le manche est courbe et la lame concave et parfaitement tranchante : cet instrument sert à faire les entailles dans les arbres;

6° Une échelle de résinier, qui consiste en une simple tige de bois portant de petits degrés fixés avec un clou sur cette tige : lorsque le résinier se sert de son échelle, le pied droit repose sur un degré, tandis que la jambe gauche, enlaçant la tige : vient s'appuyer contre l'arbre;

7° Enfin une escouarte ou seau en liége, qui sert à porter les produits recueillis au pied ou sur le tronc des arbres. Une lame de fer fixée au bord supérieur permet de détacher la résine qui adhère à la pelle au moyen de laquelle on la ramasse.

Durée du travail en forêt. — La récolte commence au mois de

mars, et finit en décembre; on l'obtient en faisant aux arbres, depuis le mois de janvier jusqu'à la fin de novembre, des carres ou entailles verticales profondes de 2 centimètres environ, larges de 8 à 10 centimètres, et arrivant à une hauteur de 3 ou 4 mètres.

On commence à ouvrir les plaies d'abord au pied de l'arbre, et on augmente leur longueur chaque semaine de 2 à 3 centim., tout en rafraîchissant l'entaille de la semaine précédente. Une entaille sert pour toute l'année. L'année suivante on en fait une autre à côté de la précédente, etc., etc., en avançant successivement autour de l'arbre. Lorsque l'arbre doit être abattu dans un temps prochain, on fait plusieurs entailles à la fois, diamétralement opposées ; c'est ce qu'on appelle *saigner à mort*.

Récolte. — Par ces carres, le suc résineux coule en larmes, qui viennent tomber au pied de l'arbre, où elles sont reçues dans des crots ou petites fosses creusées à cet effet; quelquefois dans des bassins taillés dans un morceau de bois; d'autres fois encore, comme je l'ai vu près de Dax, dans des pots vernissés attachés aux troncs des pins.

Inconvénients des méthodes employées. — De tous ces moyens de recueillir la gomme, le premier, c'est-à-dire la récolte dans des fosses creusées dans le sol, est le plus défectueux, à cause des pertes qui en résultent. En effet, pour que la fosse soit à peu près étanche, il faut que le sable ait absorbé une grande quantité de la matière qu'on exploite.

Avant d'arriver au pied de l'arbre, la gomme est restée longtemps exposée à l'air, et a perdu une partie du principe volatil qui constitue l'essence de térébenthine ; en outre, sous l'influence de l'air et de la chaleur solaire, une autre partie de l'essence s'est transformée en résine.

Il y a donc épaississement du suc résineux ; il se forme alors des stalactites, qui restent suspendues au tronc de l'arbre. Ces matières, qu'on désigne sous le nom de *galipots*, ne sont détachées qu'à la fin de la saison, après être restées expo-

sées pendant un temps très-long aux causes de pertes résultant de l'évaporation et de la transformation de l'essence en résine. La formation des galipots a l'inconvénient de dévier les gouttelettes liquides, qui, ne coulant plus le long de l'arbre, ne viennent pas dans le réservoir, et sont quelquefois emportées par le vent, après être restées suspendues à l'extrémité des aiguilles solides provenant de la coagulation des matières résineuses.

La récolte faite dans des réservoirs en bois placés au pied de l'arbre offre en partie les mêmes inconvénients, quoique, à la vérité, la résine soit plus propre, qu'elle contienne moins de sable, de feuilles et d'écorces, et quoique le récipient absorbe moins de matières utiles. Mais, là encore, il y a entraînement mécanique des gouttelettes résineuses, évaporation et formation de résine.

Le mode de récolte imaginé par M. Hugues, de Bordeaux, consistant à placer des pots imperméables à diverses hauteurs sur l'arbre, est certainement le meilleur de tous ; mais la pratique y a renoncé dans beaucoup de localités, à cause de la dépense à faire pour les frais d'installation et pour l'entretien.

Amasse. — En quelques jours, lorsque la saison est favorable, les réservoirs sont remplis par la résine qui coule des arbres, et l'ouvrier doit immédiatement faire l'*amasse :* sans cela les réservoirs déborderaient, et une grande quantité de la gemme serait perdue. C'est ce qui arrive fréquemment dans les temps pluvieux ; l'eau venant dans les réservoirs est surnagée par l'essence de térébenthine, qui s'écoule aussitôt qu'il y a un trop plein.

Cette perte peut être évitée par du soin, et les résiniers font souvent l'*amasse* dans les *crots ;* les matières recueillies sont mises dans le seau et portées dans de grands réservoirs appelés *barques.*

Ces barques sont en bois ; ils sont placés dans le sol à peu de

distance les uns des autres, de manière que l'ouvrier n'ait pas trop de chemin à faire pour vider son escouarte.

Les dimensions des barques sont les suivantes :

Largeur.	0m50 à 0m80
Longueur.	1m00 à 1m60
Profondeur.	0m40 à 0m60

Ces barques sont couvertes tant bien que mal par des madriers non jointifs, qui laissent arriver dans la résine les matières étrangères entraînées par le vent ; mais on ne peut obtenir du résinier plus de soins, parce que les résines se vendent au volume, et qu'il trouve son profit à ce qu'elles contiennent le plus d'impuretés possible.

Quant aux barras et galipots, ils doivent être arrachés de l'arbre avec la pousse ; le résinier les fait tomber sur une toile étendue sur le sol. Ces produits se récoltent seulement à la fin de la saison, et sont portés immédiatement à l'usine.

Rendement des pins. — D'après les renseignements qui m'ont été donnés sur place, les arbres, dans les forêts, sont semés très près les uns des autres, soit à peu près à raison de 4,000 à 4,500 par hectare ; puis, par des abattages successifs, on en réduit le nombre à 140 ou 200.

Un résinier peut être chargé du soin de 1,800 à 3,000 arbres, c'est-à dire de 13 à 15 hectares.

Un arbre de	25 ans	peut fournir, en moyenne,	2 k. de matière brute.
—	50	—	4 à 5 k.
—	60 à 70	—	6 à 8 k.
—	80 à 90	—	5 à 6 k.

Dans ces quantités, les barras et galipots entrent pour un tiers environ.

Ainsi, jusqu'à 70 ans le rendement de l'arbre va en augmentant, puis, à partir de cette époque, la quantité de matière résineuse diminue ; mais cette matière est plus riche en essence.

Malgré cela, les matières premières sont payées indistincte-

ment, quelle que soit leur provenance, quelle que soit leur nature, en ayant égard, toutefois, quand cela se peut, à la quantité de substances étrangères qu'elles contiennent, car les fraudes sont nombreuses : elles consistent, soit dans l'addition d'eau froide, introduite par simple agitation, et dont la quantité peut s'élever à 5 0/0, soit dans l'addition d'eau chaude, qui peut aller jusqu'à 10 0/0; mais cette addition rend la gemme plus blanche : elle file en coulant. Le fraudeur, pour remédier à cela, ajoute alors de la terre glaise, ce qui diminue encore la quantité du produit utile; souvent les résiniers ajoutent du sable.

Ces fraudes s'étendent même aux barras : on les fait imbiber dans l'eau tiède, dont ils absorbent une certaine quantité; on ajoute du sable, puis on les met en pains par compression, et alors on les vend au fabricant, qui les achète au poids.

Quelquefois encore, les résiniers vendent des gemmes dont ils ont extrait de la térébenthine, dite térébenthine au soleil, qu'ils obtiennent en exposant au soleil ou à la chaleur d'une étuve la matière brute, qu'ils ont placée dans des tonneaux, laissent exsuder par les joints les produits les plus purs, les plus liquides et les plus riches en essence, produits qui ont une valeur assez grande, et qui se vendent pour être employés à l'état naturel.

Mais, d'autre part, les fabricants, qui ordinairement fournissent les barriques, les font plus grandes qu'elles ne doivent être ; ils amincissent leurs douves, mettent des fonds plats : ils peuvent ainsi gagner 8 0/0 de matière au détriment du producteur.

Celui-ci livre les gemmes qu'il a récoltées, et déposées, comme nous l'avons dit, dans des barques placés de distance en distance dans la forêt, aux bouviers du propriétaire, qui viennent les enlever dans *ses barriques*. Pour vider les barques, ils ont de grandes poches en cuivre, avec lesquelles ils remplissent les barriques, par une large ouverture carrée remplaçant le trou de la bonde, et qu'ils bouchent avec un tampon de paille ou de ge-

nêt, qui absorbent toujours une certaine quantité de matière résineuse. Les tampons de genêt bien faits ne prennent guère que 1/4 de kilog.; ceux de paille en enlèvent toujours plus, quelquefois jusqu'à un kilog. Ordinairement, on recueille une partie de la gemme absorbée en faisant égoutter les tampons sous l'influence de la chaleur solaire ou d'une chaleur artificielle modérée, puis on met de côté le tampon, pour le traiter, comme nous le dirons plus tard, avec les résidus servant à fabriquer les brais et goudrons.

Magasinage des gemmes dans l'usine. — En arrivant à l'usine, les gemmes sont déposées dans de grands barques faits comme ceux de la forêt, leurs dimensions étant proportionnées à l'importance de l'usine.

Ils sont construits en bois goudronné, et placés sous un hangar qui le plus souvent n'est pas clos.

On a observé que la perte en essence résultant de ce magasinage défectueux pouvait s'élever jusqu'à 4 0/0. Il semble étonnant qu'il ne soit encore venu à l'idée d'aucun propriétaire de se mettre à l'abri de cette cause de perte en construisant des hangars bien clos, dans lesquels l'air n'aurait pas accès, et qui seraient protégés contre la chaleur extérieure par des murs épais et une toiture de chaume, en un mot, en construisant des hangars à résine sur le modèle des glacières. Cependant, dans quelques usines, le magasinage se fait un peu différemment : les barriques sont placées, en arrivant de la forêt, dans des viviers pleins d'eau, où la perte se trouve de beaucoup diminuée; mais il faut avoir un grand nombre de barriques, ce qui est dispendieux, tant à cause des frais de première acquisition que des frais d'entretien.

Fabrication de l'essence. — Lorsqu'il est arrivé à l'usine une quantité de résine suffisante, la fabrication commence. Avec de grandes poches en cuivre, les matières sont puisées dans le barque et transvasées dans une chaudière (dite chaudière à liqué-

fier), où, par une chaleur modérée, on leur donne assez de fluidité pour qu'elles soient susceptibles d'être filtrées, afin d'enlever les matières légères qu'elles tiennent en suspension.

Dans les usines que j'ai visitées, il y a deux chaudières à liquéfier, voisines l'une de l'autre; on les emplit alternativement. Ces chaudières sont hémisphériques; leur diamètre varie de $1^{m}25$ à $1^{m}55$.

Un feu doux, entretenu au-dessous de ces chaudières avec du bois de pin, amène, en une heure et demie ou deux heures, à une liquidité parfaite, la gemme qu'on y verse, et qu'on agite de temps à autre avec une longue perche de bois, de manière à bien répartir la température dans toute la masse. Sans cette précaution, la matière, qui est mauvaise conductrice de la chaleur, pourrait être brûlée dans le fond de la chaudière.

Quand un léger bouillonnement apparaît à la surface, la gemme chaude est filtrée sur de la paille arrangée au fond d'une civière à claire-voie; cette civière est placée au-dessus d'un bac en bois dans lequel tombe le liquide, qui prend alors le nom de *térébenthine.*

La térébenthine, par un repos d'une heure environ, dépose au fond du bac les matières lourdes qu'elle a entraînées.

Alors on la décante pour la verser dans un second réservoir, contigu au premier; c'est dans ce réservoir qu'on la prend pour la mettre dans l'appareil distillatoire.

L'opération qui vient d'être décrite est, on le voit, des plus simples; mais elle est une nouvelle source de pertes pour le fabricant : cette liquéfaction à l'air libre permet à l'essence de s'évaporer; il faudrait que les chaudières à liquéfier fussent couvertes et que l'essence qui s'évapore fût recueillie.

Fabrication de l'essence. — La térébenthine ainsi obtenue donne directement l'essence, en la distillant dans un alambic en cuivre qui ne diffère des alambics ordinaires qu'en ce qu'il se charge par un orifice latéral, s'ouvrant dans un réservoir ap-

pelé *charge*, et qu'il porte à la partie inférieure un ajutage ou tube de 0^m10 de diamètre environ, fermé par une bonde de bois; c'est par cet ajustage que s'écoule la matière épuisée d'essence.

La *charge* est un vase en cuivre d'une capacité telle qu'il contienne juste la quantité de térébenthine qui doit être introduite dans l'alambic pour une opération.

Le tube établissant la communication entre l'alambic et la charge est fermé au moyen d'une soupape qu'on manœuvre par un levier.

300 à 350 kilog. de matière, c'est-à-dire à peu près la contenance d'une barrique chalosse, sont introduits à la fois dans l'alambic, qui a 1^m à 1^m15 de diamètre, et 90 à 95 c. de profondeur; la matière y occupe une hauteur d'environ 30 centimètres.

Le chauffage se fait sous l'alambic par le rayonnement direct du combustible placé dans le foyer et par la fumée, qui, avant de se rendre dans la cheminée, passe sous une chaudière en fonte toujours pleine d'eau; cette eau est destinée à être introduite dans le brai sec ou colophane qu'on tire de l'alambic à la fin de l'opération pour faire les résines.

On s'aperçoit que l'opération est finie lorsqu'il ne s'écoule plus d'essence par le serpentin avec lequel l'alambic est en communication.

Ce serpentin plonge dans une large cuve de 2^m à 2^m25 de diamètre, pleine d'eau qu'on maintient à une température convenable pour la condensation, en la renouvelant de temps à autre à l'aide d'une pompe à bras manœuvrée par une femme.

Le serpentin a 15 cent. de diamètre et fait ordinairement trois tours dans la cuve.

Pour faciliter l'entraînement de l'essence de térébenthine, l'ouvrier distillateur (c'est le chef d'atelier) verse par petites quantités, à l'aide d'un entonnoir à robinet placé sur le sommet du chapeau de l'alambic, une certaine quantité d'eau, à peu près 9 litres.

Cette eau, avec celle contenue dans la térébenthine, passe dans le serpentin, où elle est condensée en même temps que l'essence; le mélange tombe dans un bassin doublé de plomb, d'où l'on retire l'essence par décantation.

L'essence est alors portée en magasin, dans des jarres en terre généralement mal bouchées; on la laisse reposer quelques jours avant de procéder à la mise en futaille.

L'inconvénient principal de ce mode d'opérer réside tout entier dans le chauffage, qui ne peut être régulier, et expose l'ouvrier à brûler la matière, lorsqu'il veut enlever les dernières traces d'essence.

Un autre inconvénient est celui qui résulte d'une mauvaise condensation, lorsque le chef d'atelier ne fait pas rafraîchir l'eau de la cuve assez fréquemment; d'ailleurs, une disposition vicieuse existe *dans toutes les usines :* l'eau froide est versée à la surface de la cuve, tandis qu'il faudrait, pour un refroidissement méthodique, l'envoyer au fond.

Enfin, le mode de décantation est une source de perte assez considérable, quoique cette opération soit faite avec adresse par les ouvriers qui en sont chargés.

Les essences qu'on obtient sont plus ou moins pures, suivant la qualité de la matière première; les gemmes nouvelles donnent des essences plus belles que les derniers produits de la récolte, qui, contenant peu de principes volatils, doivent être chauffés beaucoup, et donnent par conséquent des huiles de résine qui souillent l'essence, la colorent en jaune et la rendent *grasse,* suivant l'expression adoptée.

Fabrication de la résine. — La dernière opération dans la fabrique est la mise en pain de la colophane, telle qu'elle sort de l'alambic ou bien mélangée avec de l'eau, de façon à la transformer en résine jaune.

Lorsque la distillation est terminée, on retire la bonde qui ferme l'orifice inférieur de l'alambic, et la colophane ou brai sec

coule par un caniveau en bois, dans une chaudière de fonte, où elle séjourne jusqu'au moment où cette chaudière en contient une quantité assez grande pour mouler quatre ou cinq pains de résine pesant 100 kilog. chacun.

La colophane est alors filtrée sur de la paille, au-dessus d'une grande cuve en bois appelée pétrin, dans laquelle on la mélange avec 5 ou 8 0/0 de son poids d'eau chaude.

Pour qu'il y ait homogénéité parfaite dans toute la masse, deux hommes, armés de longues perches en bois, font le brassage de la matière, qui se boursouffle, et qui même quelquefois jaillit par suite de la production d'une grande quantité de vapeur.

Quand on est arrivé à rendre le mélange assez intime pour que l'on ne distingue plus dans la masse la matière transparente, qui est d'une couleur plus foncée que la substance qui l'entoure, par une bonde placée à la partie inférieure du pétrin on laisse couler la résine dans des moules en sable, disposés sur le sol de l'atelier de moulage. Ces moules sont cylindriques. C'est le chef d'atelier qui les fait; il lui faut à peu près deux ou trois minutes pour en faire un.

Moulages des résines. — Sur un tas de sable, qu'il relève à la pelle, l'ouvrier mouleur trace un cercle avec un compas en bois; le cercle tracé avec un long couteau en fer, il découpe le cylindre; puis il enlève le sable à l'intérieur avec la sarcle, sorte de houe qui lui sert à planer le fond du moule; il en régularise la paroi verticale avec la batte, instrument assez semblable à un battoir de blanchisseuse, mais épais et moins large.

Généralement les moules sont disposés sur une seule rangée, et une même rigole sert à les remplir, par l'intermédiaire de petites rigoles latérales.

Pour faciliter l'écoulement de la résine dans le moule, on place à l'extrémité de la rigole, qui forme déversoir, une feuille d'une plante très-souple, telle que l'oseille.

Le mouleur surveille l'emplissage, et, lorsque la résine atteint

le bord supérieur du moule, il comble la rigole avec du sable, puis il ajoute à la masse encore liquide la partie qui s'est figée en route, de façon à remplir complètement la cavité du moule; souvent il emploie aussi à cet usage des morceaux de pains de résine brisés, le commerce réclamant des résines en pains entiers.

Ces pains sont mis en magasin sous de la paille, pour éviter que la chaleur ou le froid ne les fasse fendiller, ce qui arrive souvent lorsqu'on a ajouté trop d'eau à la résine.

En effet, la quantité d'eau qu'on ajoute est variable; il n'y a pas de règle, le chef d'atelier est juge. Il doit éviter deux difficultés : mettre trop ou trop peu d'eau.

Trop d'eau enlève à la résine de sa valeur commerciale; trop peu enlève du bénéfice au fabricant, puisque la résine se vend au poids.

Brais gras, goudrons. — Comme annexe à la fabrique de térébenthine, il y a toujours un four à brai ou pegg, dans lequel on brûle les résidus de la fabrication, tels que les filtres à gemme, à colophane, les crottas (matières provenant du curage des trous où se recueille la gemme), les douves des vieilles barriques, et, en outre, lorsque ces résidus sont insuffisants, des bois de pin provenant de vieux troncs chargés de résine. On obtient ainsi plusieurs produits, qui sont : le brai ou pegg, liquide brunâtre, visqueux, contenant de l'eau et environ 4 0/0 d'essence de térébenthine; le brai gras, ou poix noire, qui est tout simplement le brai recuit à un feu nu dans une chaudière : la poix noire ne contient ni eau, ni essence; enfin, le goudron, matière noirâtre, qui provient surtout de la carbonisation du bois de pin.

Dans quelques cas on fabrique la poix bâtarde, mélange de goudron, de brai gras et de poix noire.

Le four dans lequel on obtient ces diverses substances a la forme d'une voûte ovale ou circulaire, ayant $2^{m}50$ à 3^{m} de hauteur, et $1^{m}80$ à 2^{m} de diamètre.

On le charge par la partie supérieure; la sole du four est inclinée vers une petite rigole qui, traversant la paroi, permet aux matières liquides de couler dans un réservoir placé au pied du four; c'est là qu'on les prend pour les traiter, ou les embariller et les livrer au commerce.

Une ouverture faite à la partie inférieure et fermée avec des briques permet d'enlever de temps à autre le charbon et les cendres qui restent dans le four.

Pour conduire le feu, il faut un ouvrier habile, qui en règle convenablement la marche; sans cela, il y a combustion complète des produits.

Il y aurait probablement avantage à produire les poix, les brais et goudrons, dans des chaudières en fonte, chauffées extérieurement.

Il me resterait maintenant à parler de la fabrication au point de vue commercial; mais je vais décrire auparavant quelques modifications qui ont été introduites par M. Violette.

Méthode de M. Violette. (Fabrique de la Hume.) — La méthode de M. Violette, qui est suivie dans une usine construite à La Hume par M. de Bègue, sous l'habile direction de M. Lecœuvre, consiste dans l'emploi de la vapeur surchauffée pour la distillation de la térébenthine : toutes les autres opérations sont les mêmes que dans les autres fabriques.

Lorsque la liquéfaction est terminée, la térébenthine est filtrée dans un berceau garni de paille placé au-dessus, dans la chaudière dite chaudière à réchauffer. Cette chaudière remplace le bac de dépôt des autres usines.

Elle est en tôle doublée de plomb, et munie d'une double enveloppe, dans laquelle circule constamment un courant de vapeur.

La térébenthine séjourne dans cette chaudière pendant toute une nuit, et les matières lourdes se déposent.

Le lendemain matin, par une bonde placée un peu au-dessous

du fond, on fait couler la térébenthine dans un caniveau en zinc communiquant avec l'appareil distillatoire.

Tous les jours on nettoie la cuve à réchauffer, et on introduit les matières impures dans une seconde cuve identique, où, par un chauffage à la vapeur, on fait une nouvelle liquéfaction, et on retire par décantation la matière utilisable. Cette matière est mélangée avec la térébenthine provenant de la première cuve, pour être distillée.

Le matériel de l'atelier de distillerie se compose, à l'intérieur du bâtiment, de l'appareil distillatoire, d'un décanteur à essence, d'un réservoir à essence; à l'extérieur, de deux cuves à rafraîchir, contenant le serpentin, des réservoirs d'eau alimentés par une pompe mue par une machine à vapeur, et enfin de la chaudière qui sert à poduire la vapeur nécessaire à toute la fabrique.

L'appareil distillatoire est en cuivre; c'est un cylindre avec une double enveloppe en tôle, dans laquelle circule un courant de vapeur surchauffée.

Douze tubes de cuivre partant d'un tube à ajutages en fonte, placé au-dessus de l'appareil, amènent à l'intérieur la vapeur surchauffée.

A la partie supérieure, un large orifice surmonté d'un chapiteau de cucurbite ordinaire donne issue aux vapeurs qui se dégagent du sein de la matière que l'on distille.

Pour éviter la déperdition de la chaleur, tout le système est placé dans une grande caisse de bois remplie de poussier de charbon.

L'introduction de la térébenthine dans l'appareil se fait à l'aide d'un entonnoir en communication directe avec cet appareil par un tube placé latéralement vers la partie supérieure.

L'écoulement de la gemme épuisée d'essence ou colopha ne se fait par un second tube placé à la partie inférieure.

Le tube d'introduction et le tube de sortie sont fermés tous deux par des bondes de bois.

L'eau et l'essence condensées dans le serpentin tombent dans un décanteur en cuivre, ayant la forme d'un récipient florentin;

ce décanteur verse l'essence seule dans un grand réservoir cylindrique, qui a 1 mètre dans toutes ses dimensions; c'est de ce réservoir qu'on la tire pour la mettre en magasin, dans des vases fermés au moyen d'une fermeture hydraulique.

Toutes les opérations suivantes, brassage des colophanes avec l'eau, moulage des résines, embarillage, etc., sont faites dans les mêmes conditions que dans les autres usines : je n'y reviendrai donc pas, je dirai seulement un mot du nettoyage des barriques, qui presque partout se fait très-imparfaitement.

A la Hume, lorsqu'une barrique a été vidée dans le barque à gemme, on en place le trou de bonde au-dessus d'un tube qui est le prolongement du tuyau d'échappement de la machine à vapeur, et le jet de vapeur, en peu d'instants, liquéfie la résine adhérente aux parois; bientôt cette résine coule, et on peut la recueillir pour la faire entrer en fabrication.

Le procédé de la Hume, considéré au point de vue de l'organisation des ateliers et de la méthode employée, est de beaucoup préférable au procédé ancien; les foyers sont éloignés des matières inflammables, par conséquent, les chances d'incendie sont moins grandes; la main d'œuvre est moins pénible, tous les appareils étant disposés de telle sorte que les matières coulent d'elles-mè.nes d'un appareil dans l'autre.

Malgré ces avantages, l'usine de la Hume doit recevoir et recevra certainemunt des améliorations : car, ainsi que je l'ai dit, il n'y a que l'appareil distillatoire, les cuves de dépôt et le décanteur, qui soient perfectionnés.

Comparaison des deux méthodes, rendements. — Pour la distillation des résines, deux méthodes sont en présence : la méthode ancienne, qui consiste dans l'emploi du feu nu, et la méthode nouvelle, pour laquelle M. Violette a pris un brevet et qui consiste dans l'emploi de la vapeur surchauffée.

Dans les expériences auxquelles j'ai assisté, les résultats sui-

vants ont été obtenus en opérant sur des gemmes de la nouvelle récolte :

Méthode ancienne.		Méthode nouvelle.	
Essence.	14.65 °/₀	Essence.	17.83 °/₀
Résine.	69.50	Résine.	65.26
Impuretés. . . .	9.20	Impuretés. . . .	11.93
Déficit.	6.65	Déficit.	4.98
	100		100

Ces chiffres sont sensiblement d'accord avec ceux qui m'ont été donnés à titre de renseignement et qui sont résumés ci-après :

PRODUITS OBTENUS.		MATIÈRES TRAVAILLÉES.							
		MÉTHODE ANCIENNE.				MÉTHODE NOUVELLE.			
		Résine molle	Crottats.	Galipots.	Barras.	Résine molle.	Crottats.	Galipots.	Barras.
Térébenthine	sur 100 de matière brute travaillée.	88 à 90	84 à 85	91 à 92	90 à 91	88 à 90	84 à 85	91 à 92	90 à 91
Impuretés . .		10 à 12	15 à 16	8 à 9	9 à 10	10 à 12	15 à 16	8 à 9	9 à 10
Eau	sur 100 de térébenthine épurée.	9	8	7	7	9	8	7	7
Essence . . .		17 à 18	12 à 14	9	9	20 à 24	14 à 15	10 à 12	10 à 12
Huile lourde		2	3 à 4	2 à 2.50	2 à 2.50	0	0	0	0
Essence . . .	sur 100 de gemme.	15 à 16	10 à 12	8 à 8.5	8 à 8.2	16.6 21.4	12 à 12.6	11	11
Résine. . . .		72 à 75	72 à 75	82.5 à 84	81.8 à 83	66 à 74	71.6 à 73	80	80

Or, il y a, avons-nous dit, par récolte annuelle, sur 300 parties de matière brute traitée, 100 parties de galipots, barras et crottats. Nous pouvons, d'après cela, établir le rendement moyen de chaque méthode, en supposant que, dans les usines qui ont adopté l'une ou l'autre, on travaille de manière à traiter une récolte com-

plète, c'est-à-dire les résines du commencement de l'année et celle de la fin de la saison. Ces rendements sont :

	MÉTHODE ANCIENNE.		MÉTHODE NOUVELLE.	
Sur 200 kilog. gemme.	Essence.	31 kilog.	Essence.	31 kilog.
	Brai sec.	147	Brai sec.	140
Sur 100 kil. barras. et galipots.	Essence.	9	Essence.	11
	Brai sec.	74	Brai sec.	65
Soit pour 100 de la récolte moyenne.	Essence.	13.33	Essence.	16.33
	Brai sec.	75.66	Brai sec.	68.33

Ainsi la méthode nouvelle rend 3 0/0 d'essence de plus que la méthode ancienne et seulement 5 kilos de brai sec en moins, quantité variable d'ailleurs dans beaucoup de circonstances, et surtout avec la quantité d'eau ajoutée pour fabriquer la résine jaune. Or, l'essence vaut 90 à 100 fr. les 100 kilos, et la résine de 12 à 15 fr., ce qui, pour une perte presque insignifiante, donne un bénéfice de 2 fr. 70 à 3 fr., et même plus, parce que l'essence obtenue par la méthode Violette n'a pas besoin d'être rectifiée, et que, par suite, elle a une valeur plus considérable que l'essence obtenue communément.

Dépenses de fabrication. — Les frais de main-d'œuvre et de combustible peuvent dans chaque usine se décomposer comme suit pour un jour de travail.

MÉTHODE ANCIENNE.			MÉTHODE NOUVELLE.		
Un contremaître	3 fr.	» c.	Un contremaître	3 fr.	» c.
Un térébenthinier	2	25	Un térébenthinier	2	25
Un aide	2	25	Un aide	2	25
Une femme pour pomper	2	»	Un chauffeur	2	50
5 stères de bois, à 2 fr.	10	»	10 stères de bois à 2 fr.	20	»
Total pour 2,800 kil.	19	50 c.	Total pour 3850 kil.	30	»
Soit par 100 kil.	»	696	Soit par 100 kil.	»	779c.

La méthode nouvelle coûte 0 fr. 083 de plus par 100 kilos que la méthode ancienne.

Mais, pour se rendre un compte exact de la dépense de fabrication, il faudrait ajouter aux prix de 0 fr. 696 et 0 fr. 779 l'in-

térêt et l'amortissement du capital employé à l'établissement de l'usine.

Or, une usine établie suivant l'ancien système revient à 10,000 fr. environ; tandis que l'usine de la Hume vaut au moins 30,000 fr. A la vérité, cette dernière est destinée à marcher continuellement, tandis que les autres usines ne marchent que par intermittence.

De sorte qu'en admettant une même durée temporaire aux appareils dans chaque usine, il suffirait que l'usine de la Hume travaillât trois fois plus de jours dans l'année, pour qu'il n'y ait pas à tenir compte dans la comparaison des prix de la dépense provenant du service des intérêts et de l'accroissement des capitaux employés. Cette hypothèse sur la durée du travail est sensiblement vraie, les propriétaires qui se servent des anciens appareils ne traitant guère que leur récolte et n'achetant que peu de résine à l'extérieur.

Quant à l'usure des appareils, l'expérience n'a pas encore prononcé; mais il est à croire qu'à la Hume la durée serait plus considérable qu'ailleurs, parce que le mode de travail est plus régulier et que l'emploi de la vapeur surchauffée exige des soins qu'on n'a pas, et qu'on ne peut avoir pour les anciens appareils chauffés à feu nu.

Nous pouvons donc admettre en résumé que la méthode Violette est plus productive que la méthode ancienne. Le bénéfice par chacune des méthodes peut d'ailleurs être calculé ainsi :

MÉTHODE ANCIENNE.

PRODUITS DE LA VENTE.	Essence. . . .	13 kil.	33 à 90 fr.	12 fr.	» c.
	Résine	73	66 à 12	8	85
			Total.	20	85
DONT IL FAUT DÉDUIRE :					
Dépenses d'acquisition, gemme 100 kil. à 15 fr.				15 fr.	85 c.
Frais de main-d'œuvre. . . . . 0.696.				0	696
Intérêts, amortissement, frais généraux				1	804
			Total.	17	400
			Bénéfice net.	3	45

MÉTHODE NOUVELLE.

PRODUITS DE LA VENTE.	Essence....	16 kil. 33 à 90 fr.....		14 fr.	60 c.
	Résine.....	68 33 à 12		8	20
		Total............		22	80

A DÉDUIRE :

Dépenses d'acquisition, matières premières, gemmes, barras....	15 fr.	00 c.
Main-d'œuvre..................................	0	779
Intérêts, amortissement, frais généraux................	1	821
Total.............	17	500
Bénéfice net.........	5	30

A ces bénéfices, qui sont variables suivant le cours des gemmes et le cours des essences et des brais il faut ajouter ceux qu'on retire de la fabrication des brais goudrons. Ces bénéfices sont encore considérables et ils n'exigent pour ainsi dire ni frais ni mises de fonds, les ouvriers térébentiniers dans les usines suffisent à ce travail.

Faisons remarquer toutefois que ces chiffres ne sont que des aperçus, et que les salaires comptés les mêmes pour les ouvriers dans les deux méthodes devraient varier un peu : en effet, l'ancienne méthode emploie les ouvriers résiniers qui font la récolte et ne les dérange de leur travail ordinaire que pour une occupation mieux rétribuée ; tandis que la méthode nouvelle, pour être productive, exige la continuité et a besoin d'ouvriers à demeure ne pouvant pas se livrer à la culture et par suite devant être mieux payés.

De plus sa production journalière étant plus grande, elle réclamerait du producteur une quantité considérable de matières premières dont le prix s'éleverait certainement.

L'emploi de la vapeur surchauffée rend nécessaire une chaudière à vapeur, et une pompe pour l'alimentation de cette chaudière et de la cuve du serpentin nécessairement plus considérable que dans les autres usines : ce dernier en effet doit condenser à la fois l'essence distillée et la vapeur produisant la distillation. Cette chaudière à vapeur, la pompe, les ajutages de l'appareil de distillation, ont besoin de temps à autre de réparations qu'il est

difficile de faire exécuter dans les Landes; l'usine doit donc être rapprochée d'un centre d'habitation; mais alors le prix des matières premières s'élève à cause des transports; et, quoique cette méthode soit un grand progrès sur la méthode ancienne, je crois qu'elle a dépassé le but à atteindre en ce moment; elle est trop perfectionnée, elle demande trop de soins, pour une exploitation agricole et pour les habitudes du pays.

Il serait à désirer que quelqu'un trouvât un procédé plus parfait que le procédé ancien, moins coûteux d'établissement et plus facile d'exploitation que le procédé Violette. Si les essais auxquels je me livre en ce moment réussissent, comme je l'espère, j'aurai l'honneur d'en entretenir la Société.

Quoi qu'il en soit, l'industrie des résines devrait être encouragée, et cela serait possible sans avancer beaucoup d'argent; les bénéfices couvriraient largement les dépenses.

Par la culture du pin, qui protège les Landes de l'envahissement des sables, cette industrie améliorerait le sol, qui, dans un temps plus ou moins long, serait recouvert d'une couche de détritus végétaux, d'humus. En ajoutant à ces détritus quelques engrais on aurait un sol excellent, surtout si par des tranchées convenablement tracées et dont les déblais exhausseraient le sol environnant on ménageait aux eaux croupissantes et fiévreuses des bassins artificiels, sur lesquels on pourrait établir une navigation agricole, et qui serviraient de réservoir pour les irrigations.

Les forêts de pins seraient une ressource précieuse, comme bois à employer dans beaucoup de circonstances, en admettant que les procédés de conservation des bois par l'injection de substances conservatrices se généralisent.

Enfin, par la fabrication des essences de térébenthine, des résines, des brais, des goudrons, l'industrie des résines fournirait aux besoins de notre marine et de notre industrie.

Ce serait d'ailleurs un premier pas fait pour l'introduction du travail manufacturier dans les Landes de Gascogne, et on pourrait

espérer que peut-être un jour on les verrait reprendre l'ancienne plendeur dont elles semblent avoir joui autrefois.

Comme complément de notre travail nous rapportons ici, d'après les chiffres officiels, le relevé des importations et exportations des matières résineuses pendant l'année 1857.

MATIÈRES.	IMPORTATIONS.		EXPORTATIONS.	
	Commerce général.	Commerce spécial.	Commerce général.	Commerce spécial.
Poix ou galipot	242,197	229,636	341,216	318,066
Brai gras et goudron	2,466,025	1,548,483	1,402,812	836,707
Térébenthine liquide	......	......	81,505	81,440
Térébenthine compacte	......	......	198,258	198,053
Essence de térébenthine	2,582,639	2,501,686	88,335	15,022
Brai sec, colophane, résine d'huile	7,632,957	5,490,715	2,326,561	789,649

NOTE BIBLIOGRAPHIQUE

EXTRAITE DU

JOURNAL DE LA LIBRAIRIE

(1er et 2e Trimestre 1859).

AGRICULTURE, DRAINAGE ET GÉOLOGIE.

1327. — Géologie appliquée. Traité du gisement et de l'exploitation des métaux utiles; par Amédé Burat, 4e édition, divisée en deux parties : Géologie, exploitation et exploitation des mines. In-8. 544 pages, 31 planches, et figures intercallées dans le texte. — Prix : 20 fr.

1338. — Irrigations et fummures souterraines. Exposé d'un nouveau système d'irrigations permettant d'augmenter les produits de la terre dans une proportion en quelque sorte incalculable, au moyen de travaux faciles et peu coûteux; par M. P. Charpentier. In-8. 20 pages et une planche.

1901. — L'agriculture française. Principes d'agriculture appliqués aux diverses parties de la France; par Louis Gossin, professeur d'agriculture. 2 vol. grand in-18, 1172 pages, une carte et figures dans le texte.

3086. — Engrais. Disposition des fumiers et des latrines dans les exploitations rurales; par Louis Bouchard, rédacteur des annales de l'agriculture. Grand in-8. 64 pages. — Prix : 1 fr. 25.

5714. — Faits de drainage; débit des terres drainées; position des plans d'eau souterrains; résultats d'expériences conduisant à des règles pour la détermination des écartements à donner aux drains dans certains terrains; par S.-C. Delacroix, ingénieur des ponts-et-chaussées. In-18. 84 pages.

CHEMINS DE FER.

229. — Des transports à prix réduits sur les chemins de fer; par M. Edouard Boinvilliers, maître des requêtes au conseil d'Etat. In-8. 167 pages.

372. — Notice sur le wagon d'honneur, offert par la Compagnie privilégiée Pio-Latina, chemin de fer de Rome à la frontière napolitaine, à Sa Sainteté le pape Pie IX. Gr. in-8. 8 pages.

CHIMIE ET PHYSIQUE.

99. — Introduction à la chimie agricole. Application des principes de la chimie à la culture de la canne à sucre; par F. Hugoulin, chimiste de la faculté de Montpellier. In-8. 79 pages.
837. — De l'aluminium, ses propriétés, sa fabrication et ses applications; par M. Sainte-Claire Deville, maître de conférences à l'école normale. In-8. 176 pages et une planche, 3 fr. 50.
1244. — Précis de chimie industrielle; par A. Payen, membre de l'Institut, etc., etc.. 4e édition, où l'on a introduit les derniers perfectionnements apportés aux applications de la chimie et plusieurs chapitres sur les industries nouvelles. 2 volumes in-8. 598 pages avec atlas. — 25 fr.
2156. — Traité de chimie hydrologique, comprenant des notions générales d'hydrologie; l'analyse chimique, qualitative et quantitative des eaux douces et des eaux minérales; un appendice concernant la préparation, la purification et l'essai des réactifs; et précédé d'un essai historique et de considérations sur l'analyse des eaux; par J. Lefort, pharmacien. In-8. 622 pages, avec figures intercallées dans le texte.

DIVERS.

Carnet des ingénieurs, recueils de tables, de formules et de renseignements à l'usage des ingénieurs et des architectes, des chefs d'usines industrielles et de tout directeur et conducteur de travaux; par M. Jules Gaudry, ingénieur. — Prix . 3 fr.
1145. — L'année scientifique et industrielle, ou exposé annuel des travaux scientifiques, des inventions et des principales applications de la science à l'industrie et aux arts; par Louis Figuier. In-18. 512 pages et une carte géographique. — 3 fr. 50.

ENSEIGNEMENT.

34. — Leçons d'algèbre conformes aux programmes officiels de l'enseignement des lycées; par Ch. Biot. In-8. 352 pages.
960. — Traité de perspective linéaire, contenant les tracés pour les tableaux, plans et courbes, les bas-reliefs et les décorations théâtrales, avec une théorie des effets de perperstive; par Jules de la Gournerie, ingénieur en chef des ponts-et-chaussées. In-4. 280 pages et atlas in-folio de 45 planches, dont 8 doubles. 40 fr.
968. — Traité de géométrie descriptive, suivie de la méthode des plans cotés et de la théorie des engrenages cylindriques et coniques, avec une collection d'épures, composée de 71 planches; par C.-F.-A. Leroy, ancien professeur à l'école polytechnique. Tome Ier, texte in-4°, 391 pages; tome II, atlas in-4°, 4 pages et 71 planches. — Prix : 16 fr.

— Elévation et distribution des eaux pour le service public ou privé des villes, des communes, des chemins de fer et des particuliers; travaux de recherches d'élévation et de distribution des eaux, etc.; Moteurs hydrauliques, expertises, rapports, mémoires concernant les cours d'eau, leur jaugeage, les irrigations et les dessèchements; par H. Hubert, ingénieur. In-8, 16 pages.

424. — Mémoire sur les appareils de ventilation et de chauffage établis à l'hôpital Necker, d'après le système du docteur Van Hecke; par MM. les docteurs Max Vernois et Grassi. In-8. 40 pages. —1 fr. 25.

726. — Théorie ou manière de conduire, de chauffer ou d'entretenir une machine locomotive sur les chemins de fer; machines fixes, machines de bateaux et dragues à vapeur; par Comby, l'un des plus anciens conducteurs mécaniciens de France. In-12. 47 pages. — 5 fr.

Etudes des machines à vapeur marines, d'après le traité élémentaire de M. A. Ortolan, premier maître mécanicien de la marine impériale, professeur à l'école navale impériale. Deux tableaux pour l'enseignement. 1m sur 1m 25, accompagnés chacun d'une légende descriptive et explicative : premier tableau, machine à balancier; deuxième tableau, machine hélice à connexion et à mouvement direct. Chaque tableau en noir, 12 fr.; en couleur, 17 fr.; verni, collé sur toile et en couleur, 25 fr.

1665. — Calcul de la résistance des poutres en tôle employées dans la construction des ponts et viaducs, et applications numériques de ce calcul à divers exemples de ponts pour chemins de fer; par J.-B. Godillot, conducteur des ponts-et-chaussées. In-8. 72 pages et 1 planche. — Prix : 3 fr.

3232. — Des diverses résistances et autres propriétés de la fonte, du fer et de l'acier, et de l'emploi de ces métaux dans les constructions; par G.-H. Love, ingénieur civil. In-8. 360 pages et 2 tableaux. — Prix : 8 fr. 50.

3326. — Essai sur l'industrie des matières textiles, comprenant le travail complet du coton, du lin, du chanvre, des laines, du commerce de la soie, du caoutchouc, etc.; par M. Michel Alcan, ingénieur civil. Second tirage, augmenté de la classification et de la notation caractéristique des tissus, etc., appendice. In-8. 40 pages et une planche. 2 fr. 50.

L'ouvrage complet forme 1 *vol. in-8 de* 801 *pages, et un atlas de* 36 *planches.* 32 fr.

4072. — Instruction pratique sur la construction, l'emploi et la conduite des machines agricoles en général et des machines à vapeur rurales en particulier; par M. Jules Gaudry, ingénieur civil. In-18. 100 pages. 1 fr. 75.

4636. Observations sur les prescriptions administratives réglant l'emploi des métaux dans les appareils et constructions intéressant la sécurité publique; par G.-H. Love, ingénieur civil. In-8. 63 pages. 2 fr. 50.

4816. — Guide du chauffeur et du propriétaire de machines à vapeur, 2e partie : règles et modèles de construction des principaux types de

machines à vapeur; consommations, entretiens et services comparés; accidents de chaque pièce, calcul et mesure de leur force; machines des locomotives, des locomobiles, des steamers de l'Etat et des transatlantiques; par M. Grouvelle et Jaunez, ingénieurs civils. 4e édition in-8. 584 pages, atlas 45 planches.

4904. — Album de mécanique; principes élémentaires et applications à la construction des machines; par Perrot, ingénieur. Gr. in-4. 26 pages et 40 planches.

5281. — Traité complet de mécanique agricole; par J. Grandvoinnet, ingénieur. Première partie, mécanique générale; premier volume, liv. 2. In-12. 173 pages.

MINES ET MÉTALLURGIE.

1195. — Traité de l'acier. Théorie, métallurgie, travail pratique, propriétés et usages; par H.-C. Landrin fils, ingénieur civil. In-8. 312 pages. — 5 fr.

OUVRAGES PÉRIODIQUES.

REVUES ET JOURNAUX.

Album pratique de l'art industriel. Recueil d'ornements et d'accessoires décoratifs modernes relatifs aux constructions économiques, avec prix de revient de chaque pièce, par mètre carré et par mètre courant, à l'usage des ingénieurs, architectes, conducteurs, agents-voyers, etc., etc., dirigé par C.-A. Oppermann, paraissant tous les deux mois. — Prix de l'abonnement : Paris, 10 fr.; étranger, 13 fr. par an.

Annales des ponts et chaussées, mémoires et documents relatifs à l'art des constructions et au service de l'ingénieur. Ces annales paraissent tous les deux mois par livraison in-8, et forment dans l'année 3 vol. in-8, avec planches. — Le prix d'abonnement pour Paris est de 20 fr.; pour les départements, 24 fr.

Annales des mines, ou recueil de mémoires sur l'exploitation des mines, sur les sciences qui s'y rapportent, rédigé sous la direction d'une Commission spéciale. Ces Annales paraissent tous les deux mois et forment dans l'année 2 à 3 vol. in-8, avec planches.— Le prix d'abonnement est pour Paris de 20 fr.; pour les départements, 24 fr.

Annales des conducteurs des ponts et chaussées, recueil de mémoires, documents et actes officiels; paraissant tous les mois. — L'abonnement est de 10 fr. pour la France, et 14 fr. pour l'étranger.

Annales forestières et métallurgiques, paraissant à la fin de chaque mois. — Prix de l'abonnement. 15 fr. pour la France et 20 fr. pour l'étranger.

Annales de chimie et de physique; par MM. Chevreul, Dumas, Pelouze, Boussingault, Rignoult, de Senarmont, avec une revue de travaux de chimie et de physique, publiés à l'étranger par MM. Wurtz et Verdez; paraissant le 1er de chaque mois, formant par an 3 volumes in-8, avec planches. — L'abonnement pour Paris est de 30 fr.; départements 34 fr.

Annales de l'agriculture française, ou recueil encyclopédique d'agriculture, publié sous la direction de M. Londet, de l'ancien institut agronomique de Versailles. In-8. — Prix annuel : 15 fr.

Annales télégraphiques publiées par un comité composé de fonctionnaires de l'administration des lignes télégraphiques, paraissant tous les deux mois. — L'abonnement est de 15 fr. par an pour la France et de 18 fr. pour l'étranger.

Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse. In-8, pages 231 à 306. 3 fr. le numéro — L'abonnement pour 6 bulletins (1 vol.) est de 15 fr., et par la poste, 16 fr. 50.

Bulletin de la Société de l'industrie minérale de Saint-Etienne, paraissant tous les trois mois. — Prix de l'abonnement : 25 fr. par an.

Bulletin des séances de la Société impériale et centrale d'agriculture. — Prix de l'abonnement : 8 fr. par an.

Le Génie industriel, revue des inventions françaises et étrangères, annales des progrès de l'industrie agricole et manufacturière, etc.; nomenclature des brevets délivrés en France et à l'étranger; par Armengaud frères. In-8, avec planches, paraissant tous les mois. — Prix de l'abonnement : Paris, 16 fr.; départements, 20 fr.

Journal d'agriculture pratique, fondé en 1837; par le docteur Bixio, publié depuis 1850 sous la direction de M. J.-A. Barral; seconde partie de la maison rustique du XIXe siècle. Grand in-8, avec de nombreuses vignettes intercallées dans le texte, paraît deux fois par mois, forme deux volumes par an. — Prix : 16 fr.

Journal de l'Ecole polytechnique, publié par le Conseil d'instruction de cette école. 36e cahier. Tome XIX. In-4, 10 fr. — Les 36 cahiers parus, 260 fr.

Journal belge de l'architecture et de la science des constructions, publié sous la direction de MM. C. D. Versluys et Ch. Vanderauwera. Gr. in-8. 7e année. Bruxelles, 1856. Paraît tous les mois par livraison de 16 pages de texte à deux colonnes et 2 planches. — Prix de l'abonnement par an pour Paris, 20 fr.

Journal d'agriculture progressive, le Draineur et le Génie rural réunis sous la direction de M. Edm. Vianne, ingénieur de la Compagnie du drainage, et la collaboration de M. Jules Grandvoinnet, professeur de génie rural à Grignon. Le 1er et le 16 de chaque mois. In-8, 32 pages, avec gravures sur bois et sur acier.

L'Invention, journal mensuel de la propriété industrielle, littéraire, artistique et commerciale, publié par M. Ch. Desnos. — Prix de l'abonnement : 8 fr. par an pour Paris; 10 fr. pour les départements, et 12 fr. pour l'étranger.

Nouveau portefeuille de l'ingénieur des chemins de fer; par MM. A. Perdonnet et C. Polonceau. Tous les trois mois il paraît une ou deux livraisons. Chaque livraison se compose de douze planches gr. in-fol. gravées sur acier, et de 4 à 5 feuilles in-8 de texte. — Le prix de la livraison est de 15 fr., et 16 fr. par la poste.

Nouvelles Annales de la construction, publication rapide et économique des documents les plus récents et les plus intéressants relatifs à la construction française et étrangère. Directeur : C. A. Oppermann, ingénieur des ponts et chaussées. In-fol., avec planches. — Abonnement à l'année courante : Paris, 15 fr., départements, 18 fr. Années parues : 1855-1856.

Publication industrielle des machines, outils et appareils les plus perfectionnés et les plus récents employés dans les différentes branches de l'industrie française et étrangère, par Armangaud aîné, ingénieur. In-8. — L'abonnement est de 35 fr.

Portefeuille économique des machines, de l'outillage et du matériel relatifs à la construction, aux chemins de fer, aux routes, à la navigation, à l'agriculture, aux mines, aux télégraphes électriques. etc., sous la direction de M. C. A. Oppermann, ingénieur des ponts et chaussées. Il paraît chaque mois une livraison de 4 à 6 planches grand format, cotées avec une légende explicative; plus 2 à 4 pages de texte, même format que les planches, à deux colonnes, avec tableaux et figures. — L'abonnement de 15 fr. pour Paris et de 18 fr. pour la France représente 50 à 60 planches grand format, avec 12 livraisons de texte.

Portefeuille de John Cockerill, description de toutes espèces de machines construites des établissements de Seraing, depuis leur fondation jusqu'à ce jour; publié avec l'autorisation de la Société Cockerill. Liége. 3e année; le prix de chaque année, composée de 24 planches in-folio et 12 feuilles de texte publié en 12 livraisons, est de 24 fr.

Revue municipale, journal administratif et historique, paraissant les 1er, 10 et 20 de chaque mois. — Prix de l'abonnement pour Paris, 12 fr. par an; pour les départements, 15 fr. par an.

Revue universelle des mines, de la métallurgie, des travaux publics, des sciences et des arts appliqués à l'industrie, sous la direction de Ch. de Cuyper, professeur à la Faculté de Liége; avec le concours de nombreux collaborateurs français et belges. Cette revue paraît tous les deux mois par livraison gr. in-8, avec planches, de manière à former 2 vol. de 4 à 500 pages. — Abonnement : 25 fr.; un numéro séparé 6 fr.

Revue générale de l'architecture et des travaux publics, journal des architectes, ingénieurs entrepreneurs, sous la direction de M. César Daly, architecte. In-4. Elle paraît mensuellement par numéro de trois feuilles in-4 et 4 à 5 planches gravées. — Abonnement : Paris, 40 fr.; départements, 45 fr.

L'ouvrage complet comprendra 100 livraisons in fol., dem.-jésus, papier vélin. Chaque livraison est composée de deux planches avec une feuille in-4 de texte. 12 livraisons paraîtront par année. En vente, la 1re et la 2e année en 24 livraisons. La troisième est en cours de publication. — Chaque année, 24 fr.

NAVIGATION.

1918. Canal de Nicaragua. Notice sur la navigation transatlantique des paquebots interocéaniques, ou recherches sur les routes de plus court trajet d'Europe à Saint-Jean de Nicaragua et retour, et sur le régime des courants, des vents et des tempêtes dans l'Océan atlantique septentrional; par F. A. E. Keller, ingénieur hydrographe de la marine. In-8, 221 pages et deux cartes.

STATISTIQUE ET LÉGISLATION.

59. — Description des machines et procédés pour lesquels les brevets d'invention ont été pris sous le régime de la loi du 5 juillet 1744, publié par les ordres de M. le Ministre de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux Publics. Tome 30, in-4, à deux colonnes. 439 pages et 51 planches. 15 fr.

1324. — Législation appliquée des établissements industriels, notamment des usines hydrauliques ou à vapeur, des manufactures, fabriques, ateliers dangereux, incommodes et insalubres; carrières, etc., etc. Traité complet, d'après le dernier état des lois, de la doctrine et de la jurisprudence; des règles à observer pour la création, l'exploitation, la location, la vente, l'abandon ou la suppression des établissements appartenant à l'industrie; par Bourguignot, ancien avocat au conseil d'Etat et à la cour de cassation. 2 vol. in-8, 470 pages. — Prix : 15 fr.

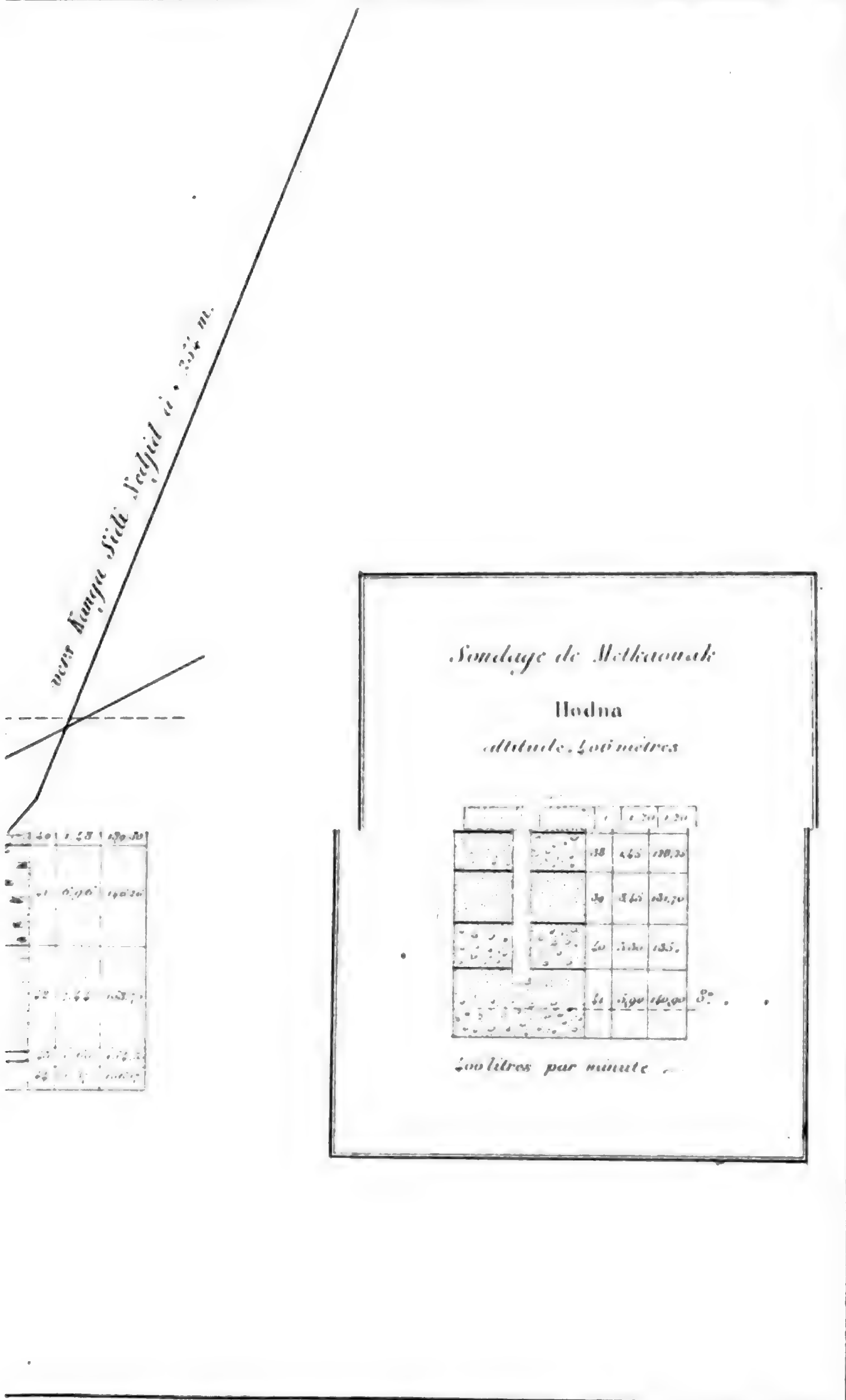
1736. — Du transport par eau et par terre. Navigation maritime et intérieure, commissionnaire, messageries; chemins de fer; télégraphie; postes, voitures; et suivi d'une table analytique des matières et de jurisprudence; par Louis Pouget, avocat. 2 vol. in-8, 1392 pages. — Prix: 6 fr.

2698. — Examen de la loi sur les brevets d'invention; par J.-C. Dumery, ingénieur civil. In-8, 233 pages.

TÉLÉGRAPHIE.

5212. — L'électricité et les chemins de fer. Description et examen de tous les systèmes proposés pour éviter les accidents sur les chemins de fer, au moyen de l'électricité; précédé d'un résumé historique élémentaire de cette science et de ses principales applications; par M. Manuel Fernandez de Castro, ingénieur en chef de 1re classe du corps royal des mines d'Espagne. In-8. 614 pages; orné d'un très-grand nombre de figures. 16 fr..

974. — Typ. Guiraudet, place de la Mairie, 2, à Neuilly.



Etabl.t de F. Neblot, Editeur.

MÉMOIRES

ET

COMPTE-RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(JUILLET, AOUT ET SEPTEMBRE 1859)

N° 7.

Pendant ce trimestre, on a traité les questions suivantes :

1° *Distillation du goudron*, par M. Ckiandi (Voir le résumé de la séance du 15 juillet, p. 272.)

2° *Régulateur électrique de la pression du gaz d'éclairage*, par M. Thévenet (Voir le résumé de la séance du 15 juillet, p. 274.)

3° Nouveau système d'*Éclissage des voies de chemins de fer*, par M. Richoux. (Voir le résumé de la séance du 15 juillet, p. 276.)

4° *Traversée des Alpes par un chemin de fer*, par M. Eugène Flachat. (Voir le Mémoire inséré dans le Bulletin, p. 313.)

5° Analyse de la brochure de M. Love sur les *Prescriptions*

19

administratives réglant l'emploi des métaux dans les appareils et constructions intéressant la sécurité publique, par M. Richoux. (Voir le résumé de la séance du 19 août, p. 298.)

6° *Tuyaux en cuivre rouge, en cuivre jaune, étirés par un procédé anglais*, par M. Charles Laurent. (Voir le résumé de la séance du 16 septembre, p. 299.)

7° *Clôtures économiques pour chemins de fer*, par M. Richoux. (Voir le résumé de la séance du 16 septembre, p. 300.)

8° Analyse de l'ouvrage de M. Love, intitulé : *Des diverses résistances et autres propriétés de la fonte, du fer et de l'acier, et de l'emploi de ces métaux dans les constructions*, par M. Camille Tronquoy. (Voir le résumé de la séance du 16 septembre, p. 300.)

9° *Essieux coudés*, procédé de M. Laubeniere, par M. Benoit Duportail. (Voir le résumé de la séance du 16 septembre, p. 310.)

10° *Fondation du pont sur le Rhin, à Kehl*, par M. Vuigner. (Voir le résumé de la séance du 16 septembre, p. 310.)

Pendant ce trimestre, la Société a reçu :

1° De la Société d'Agriculture, des Sciences, Arts et Belles-Lettres du département de l'Aube, les numéros 47 et 48 de son Bulletin ;

2° De M. Desnos, membre de la Société, les numéros de juillet, août et septembre 1859 du journal *l'Invention ;*

3° De M. Fromont, membre de la Société, une note sur un nouveau système de rail évidé, supporté par des coussinets en fer laminé ;

4° Les numéros de juillet, août et septembre 1859 du journal *the Engineer ;*

5° Les numéros de janvier, février, mars et avril 1859 des *Annales des ponts et chaussées;*

6° La 6e livraison de 1858 des *Annales des Mines;*

7° De la Société d'Encouragement, les numéros de juin, juillet et août de son Bulletin ;

8° De la Société impériale et centrale d'Agriculture, les numéros de ses trois derniers Bulletins;

9° De l'Institution *Of Méchanical Engineers*, les numéros de mai, juin et juillet de son Bulletin ;

10° De M. Oppermann, les numéros de juillet, août et septembre des *Nouvelles Annales de la Construction*, et du *Portefeuille économique des Machines*, ainsi que les numéros de juillet, août, septembre et octobre de son *Album pratique de l'Art Industriel;*

11° De la Société de l'industrie minérale, un exemplaire de son Bulletin, du premier trimestre 1859;

12° Le numéro de juillet et août des *Annales télégraphiques ;*

13° de M. Armengaud aîné, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure sur les *Instructions pratiques à l'usage des inventeurs ;*

14° Les numéros de juillet et août des *Annales des conducteurs des ponts et chaussées;*

15° De M. V. Prou, conducteur des ponts et chaussées, un exemplaire de sa notice sur la *Géométrie des courbes et garages des voies de chemins de fer;*

16° Les numéros 3 et 4 de la *Revue des Ingénieurs Autrichiens ;*

17° De M. Charles Chevalier, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure, intitulée : *Méthodes photographiques;*

18° De M. Noblet, éditeur, les dernières livraisons du 1er volume du *Portefeuille de John Cockerill;*

19° De M. Lambert, membre de la Société, un exemplaire d'une brochure intitulée : *Mémoire sur un nouveau système de wagons, et sur la composition des trains;*

20° Le numéro d'août 1859 des *Annales forestières et métallurgiques ;*

21° De la Société industrielle de Mulhouse, un exemplaire de son dernier Bulletin ;

22° De M. César Daly, les numéros 1 et 2 du dix-septième volume de sa *Revue d'architecture ;*

RÉSUMÉ DES PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

PENDANT LE 3e TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1859.

SÉANCE DU 15 JUILLET 1859.

Présidence de M. Nozo, *vice-président.*

M. le Président rappelle qu'il a été adressé à tous les membres de la Société une lettre circulaire qui les invite à souscrire pour les blessés de l'armée d'Italie. Comme il importe que le montant de la souscription soit déposé le plus tôt possible, il engage chacun de nous à se hâter d'envoyer son offrande au secrétariat de la Société.

M. Ckiandi donne ensuite la description de son appareil à distiller le goudron.

La distillation du goudron s'opère dans une chaudière, placée dans l'intérieur d'un générateur à vapeur ordinaire, timbrée à 7 1/2 atmosphères, et servant de bain-marie à haute pression La vapeur produite est utilisée : 1° au chauffage d'une série de cylindres à double enveloppe, dont la température varie graduellement de 140 à 80°. Cette gradation est obtenue en faisant varier la tension de la vapeur de 3 atmosphères 1/2 à 1/2 atmosphère; 2° à la mise en mouvement d'une petite machine de 3 chevaux, actionnant une pompe pneumatique et les pompes d'alimentation du générateur et des réservoirs des réfrigérants; 3° à la vidange des chaudières à brai gras et à brai sec; 4° enfin au nettoyage de toutes les parties de l'appareil qui sont sujettes aux engorgements et aux obstructions par la naphtaline.

La chaudière intérieure est mise en communication avec les appareils de condensation par un dôme surmonté d'une colonne d'ascension. Celle-ci est terminée par une boule munie d'une allonge, à laquelle viennent s'adapter les tuyaux découlement des produits distillés.

Les produits distillés se rendent dans les cylindres à double enveloppe, dits *cylindres fonctionneurs*, car c'est là que, par une graduation de température (fixée une fois pour toute), on opère des distillations successives, afin d'obtenir la séparation des huiles les plus volatiles de celles qui le sont moins, ainsi que des naphtalines. Les produits les plus volatils (Benzines), se rendent dans un serpentin en fer et fonte, composé d'une boîte inférieure et d'une boîte supérieure mises en communication par une centaine de tuyaux verticaux

Le goudron, privé se ses huiles légères et d'une partie des huiles lourdes, se trouve ramené à l'état de brai gras (sec en hiver et filant en été). Il passe

alors dans une chaudière à recuire, dont les parois sont enveloppés de toutes parts par un cylindre de maçonnerie, afin d'éviter le contact du feu.

Des tuyaux de vapeur sont ménagés dans les deux chaudières et pénétrent dans les masses à distiller, de manière à exercer un brassage énergique, et par cela même activer la distillation. L'expulsion du brai gras et du brai sec se fait par des tuyaux plongeurs, *placés en dehors des maçonneries*, et sous l'effort d'une atmosphère et demie de pression.

En résumé, la distillation du goudron s'opère sous la triple action de la chaleur, du barbottage de vapeur et du vide qui règne dans tout l'appareil.

Le barbottage accélère comme il a été dit l'opération, tout en maintenant une température constante dans les deux appareils.

Le vide permet d'aspirer directememt le goudron dans les citerneset évite d'avoir recours à l'emploi des réservoirs de goudron dans les parties supérieures de l'établissement, chose toujours très-dangereuse. En outre, on facilite la distillation des produits volatils en opérant sous une faible pression, pour ne pas dire une pression nulle. On évite les refoulements d'air dans l'intérieur des appareils, refoulements qui proviennent d'une condensation rapide des produits volatils; on supprime les chances de combustions instantanées, qui peuvent avoir lieu, *quand par hasard* les parois de la deuxième chaudière viennent à rougir. Enfin, on a le grand avantage d'opérer la condensation des produits dans des vases *hermétiquement clos;* ce qui empêche le dégagement de vapeurs inflammables dans les salles de distillation.

Dans les systèmes de fabrications ordinaires, les tuyaux sont fréquemment obstrués par la formation du coke de goudron; cet accident ne peut se produire dans le nouvel appareil, les tuyaux de décharge des brais étant placés en dehors des maçonneries chauffées.

Un appareil de ce système a été établi à Cambrai. La charge est de 1,500 kilogr. par 24 heures, et on pourrait la porter à 4,000 kilog. en ajoutant trois chaudières à recuire. Il exige comme main-d'œuvre un homme de jour et un homme de nuit. Les deux fours brûlent 4 hectolitres de coke par 24 heures, et une centaine de kilogr. de naphtalines brutes sans valeur.

Les produits soit :

5 0/0 d'huile jaune claire à 25° Cartier.
75 0/0 de brai sec, cassant.
15 0/0 de naphtaline qui se fige et des traces d'huiles lourdes.
5 0/0 déchet et eaux ammoniacales, que l'on charge malgré soi avec le goudron.

M. Ckiandi donne ensuite quelques détails sur la construction des appareils, dont il met les dessins sous les yeux de la Société. Il dit que les tuyaux en cuivre et les robinets en bronze sont rapidement attaqués et détruits. Le fer et la fonte résistent au contraire parfaitement. Les joints au minium ont dû être abandonnés; on les a fait avec succès en interposant entre les collets une rondelle en plomb, dans laquelle pénètrent des saillies tranchantes et circulaires venues de fonte avec les tuyaux.

M. le Président remercie M. Ckiandi de sa très-intéressante communication, et donne la parole à M. Thevenet pour lire une note sur un régulateur

électrique de la pression du gaz de l'éclairage inventé par MM. Breguet e Giroud.

M. Thevenet commence par préciser les inconvénients qui résultent de l'irrégularité de la pression. Actuellement les usines à gaz sont obligées de maintenir dans la canalisation des villes qu'elles éclairent une pression supérieure à celle qui est nécessaire et suffisante pour la bonne combustion du gaz, et cela, afin que la pression ne se trouve jamais insuffisante pour satisfaire les besoins variés des consommateurs, et contrebalancer les effets produits par les vicissitudes de l'atmosphère. De cet excès de pression résultent des inconvénients de plus d'un genre, surtout des pertes considérables par les fuites de la canalisation. M. Servier, sous-chef du service des Usines à la Compagnie Parisienne, a constaté que cette Compagnie perdait chaque année par les fuites cinq millions de mètres cubes de gaz.

Or, on sait que la dépense du gaz par les fissures qui occasionnent les fuites est sensiblement proportionnelle aux pressions; elle est donnée exactement par la formule $0,6\ (\sqrt{P} + P)$ (Mémoire de M. Séguin.) On voit quelle immense économie pourrait faire une grande Compagnie, telle que celle qui éclaire Paris, si le gaz était constamment maintenu aux brûleurs à la pression suffisante de 15 millim., au lieu d'être soumis à une pression variable, mais en moyenne de 30 millim. : ce serait plus de deux millions de mètres cubes que l'on épargnerait chaque année.

L'exégération de la pression produit aussi une consommation exagérée par l'éclairage public et l'éclairage par abonnement sans compteur; car la dépense du gaz est sensiblement proportionnelle aux racines carrées des pressions (Elle est exactement donnée par les formules $D = 55 \sqrt{P} + 30\ P$ pour les faibles pressions, et $D = 5 \sqrt{P} + 7,4\ P$ pour les pressions supérieures à 15 millim.). Or, si nous supposons qu'au lieu d'une pression moyenne de 27 millim., on obtienne une pression constante de 15 millim., on réalisera une économie de 22 p. 0/0 du gaz consommé par l'éclairage public.

Les variations de pressions qui se manifestent dans la canalisation des villes proviennent de ce que la mesure exacte des besoins n'est pas connue constamment à l'usine, et qu'on ne peut régler la sortie du gaz en conséquence de ces mêmes besoins. De ces variations perpétuelles de la pression dans les conduits de distribution résulte l'impossibilité, pour les Compagnies, de régler à un taux normal la consommation des abonnés à l'heure, et une irrégularité fâcheuse dans le service de l'éclairage.

Cette instabilité de la pression entraîne pour les consommateurs une série d'inconvénients :

1° La nécessité de faire varier l'ouverture des robinets des brûleurs plusieurs fois dans la même soirée, et la rupture des cheminées en verre, lorsqu'on ne surveille pas assez attentivement le volume des flammmes;

2° Une rapide altération des décorations par les produits de la combustion incomplète qui a lieu chaque fois que les flammes s'allongent démesurément;

3° Une consommation de gaz supérieure à celle qui aurait lieu sous la

pression minima, et inexactement accusée par les compteurs, qui ne donnent pas des indications comparables sous des pressions variables;

4° Un éclairage inconstant et d'une intensité moindre que celle que l'on obtiendrait par la combustion d'une égale quantité de gaz, sous une pression moyenne, plus faible.

Tous ces inconvénients, toutes ces dépenses exagérées, préjudiciables et au producteur et aux consommateurs, disparaîtraient si l'on maintenait dans la canalisation une pression constante et strictement nécessaire. C'est ce qu'il est facile d'obtenir à l'aide du régulateur de MM. Bréguet et Giroud. L'ensemble de leur système comprend deux groupes d'appareils. Le premier se compose d'un manomètre à flotteur, installé dans un bureau de ville, situé en un point central du périmètre éclairé, et qui indique la pression du gaz. L'aiguille de cet instrument est limitée dans ses excursions par deux arrêts, et vient se mettre en contact avec l'un d'eux dès que la pression s'écarte de la plus petite quantité du degré où on veut la maintenir.

Deux conducteurs électriques liés aux arrêts se rendent à l'usine à gaz. L'aiguille du manomètre étant en relation avec l'un des pôles d'une pile dont l'autre pôle est en communication avec la terre, il en résulte, chaque fois que la pression tend à s'écarter du degré déterminé, que l'une des branches de l'aiguille, en venant toucher l'un des arrêts, ferme un circuit et lance dans l'un des fils conducteurs un courant qui se rend à l'usine à gaz.

Le second groupe d'appareils, situé à l'usine à gaz, consiste en une valve hydraulique, placée sur la conduite par laquelle le gaz s'échappe du gazomètre, et manœuvrée par un moteur à poids, commandé lui-même par un embrayage double.

Deux électro-aimants, reliés chacun à l'un des fils conducteurs partant du manomètre placé au lieu de consommation, sont disposés dans le moteur de manière à agir sur le levier d'embrayage.

Suivant que l'un ou l'autre des électro-aimants reçoit le courant électrique, ou que tous les deux restent inertes, le levier d'embrayage occupe trois positions différentes, et la valve hydraulique reste immobile, monte ou descend.

Il résulte de la disposition des appareils et de la vitesse de l'électricité que chaque variation de pression qui vient à se produire dans le réseau de distribution change instantanément les conditions de la sortie du gaz à l'usine. Comme d'autre part la pression se transmet dans les conduites avec une vitesse de 450 mètres par seconde, on voit que les écarts de pression qui se produiraient dans un réseau même très-étendu seraient corrigés dans l'espace de 3 ou 4 secondes au plus. L'action automatique de ces appareils supprime l'employé qui est préposé à la valve de sortie des usines à gaz. Le prix de ce régulateur ne dépasserait pas 3 à 400 fr., suivant l'importance de l'usine, et l'établissement du conducteur électrique ne coûterait pas plus de 400 fr. par kilom.

On voit donc que le système de MM. Bréguet et Giroud pourrait être appliqué sans grands sacrifices par les usines à gaz, et on s'étonne qu'elles

ne l'aient pas déjà adopté, quand on se reporte aux immenses avantages qu'elles en obtiendraient.

M. Richoux donne ensuite communication d'une note sur un nouveau système d'éclissage.

Les coussinets de joint employés dans les chemins de fer ont deux grands inconvénients : ils laissent une trop grande latitude au cheminement de la voie, et permettent le relèvement des abouts des rails. L'éclissage, généralement adopté, remédie d'une manière assez convenable à ces deux inconvénients ; mais, placé en porte à faux, et n'ayant qu'une résistance très-faible par rapport au rail, il permet de fortes flexions, facilite la dessoudure des abouts des rails, et rend ainsi leur destruction très-rapide. On peut dire qu'il cause au moins les 75 p. 0/0 des rebuts auxquels les usines se trouvent soumises pour la garantie.

M. Garnier a pensé qu'on pourrait améliorer le joint tout en conservant le coussinet, c'est-à-dire en évitant les inconvénients du porte à faux.

A cet effet, il introduit dans le coussinet, entre les rails et les coins, un fer en auge portant deux tenons engagés chacun dans un about des rails à réunir. Par cette disposition, le cheminement de la voie se trouve arrêté comme avec l'éclisse ordinaire ; les abouts des rails, maintenus par les rebords du fer, ne peuvent plus se relever, et le joint, reposant sur le coussinet, se trouve dans de meilleures conditions pour s'opposer à la dessoudure des champignons.

Un essai fait près de Chatou, dans la forêt du Vésinet, il y a deux ans, sur la voie montante, se comporte très-bien ; et cependant l'espacement des traverses est le même au joint et dans les portées intermédiaires, et le coussinet employé est le coussinet de la voie ordinaire, c'est-à-dire un coussinet ne laissant de place que pour un coin d'une très-faible épaisseur.

En résumé, il paraît que cette disposition peut donner de bons résultats ; seulement, il faudrait donner au fer en auge des rebords suffisamment étendus pour qu'ils ne puissent se gauchir latéralement, et employer des coins en bois comprimé. Dans ces conditions, le prix de revient du joint serait à peu près moitié du joint éclissé, et l'entretien serait facilité par l'absence de tous boulons.

SÉANCE DU 19 AOUT 1859.

Présidence de M. J. Petiet, *vice-président*

M. Flachat adresse à la société un mémoire sur la traversée des Alpes par un chemin de fer (1).

(1) Voir ce Mémoire, p. 313.

M. Richoux donne ensuite communication de l'analyse qu'il a faite de la brochure de M. Love, sur les *Prescriptions administratives réglant l'emploi des métaux dans les appareils et constructions intéressant la sécurité publique.*

Les ingénieurs reconnaissent généralement que les prescriptions administratives qui règlent l'emploi des métaux dans les constructions sont d'une faible efficacité; que, dans la plupart des cas, elles conduisent les constructeurs à employer des matériaux de médiocre qualité ; enfin, que ce fait réagit d'une manière fâcheuse sur l'industrie métallurgique.

Réunir et formuler des objections auxquelles donnent lieu les prescriptions administratives, rechercher une solution à l'abri de la critique, tel est le but que M. Love s'est proposé en publiant la brochure dont nous allons donner l'analyse.

L'auteur a divisé son travail en quatre chapitres : dans le premier chapitre, il montre que l'administration, après avoir fait des règlements pour les chaudières à vapeur, les rails de chemins de fer, le fer des câbles et des chaînes de ponts suspendus, laisse toute la latitude aux constructeurs dès qu'il s'agit des métaux entrant dans la construction des édifices publics ou particuliers; que cette anomalie s'étend aux chaînes et aux cables employés dans les navires, dans les puits de mines, et jusqu'aux colonnes en fonte des ponts suspendus qui servent de point d'appui à ces mêmes câbles pour lesquels l'administration a fait des règlements spéciaux ; qu'enfin, la fonte et le fer étant les seuls métaux soumis aux règlements, les constructeurs qui voudraient substituer l'acier à ces métaux se trouveraient dans l'impossibilité de le faire ou dans la nécessité d'employer une quantité de métal supérieure au nécessaire, à moins, toutefois, que l'administration ne voulût consentir à une modification radicale de ses règlements.

Dans le second chapitre, M. Love examine les diverses hypothèses et formules qui servent de bases aux prescriptions administratives. Il montre que ces formules, basées sur des moyennes de résistance, conduisent, soit à des constructions coûteuses, soit à des constructions qui n'offrent pas toute sécurité, suivant que le métal employé est de bonne ou mauvaise qualité, sa résistance pouvant alors varier du simple au triple.

En dehors de ces conséquences, l'adoption des moyennes crée un obstacle sérieux aux progrès de l'industrie métallurgique, car les entrepreneurs et même les compagnies visent presque toujours au bon marché présent, et les fers résistants coûtent plus chers que les autres.

M. Love examine ensuite s'il y a réellement une limite d'élasticité, et si on peut la prendre pour point de départ des formules de résistance. Il fait remarquer que les meilleurs auteurs ne reconnaissent pas, à proprement parler, de limite d'élasticité pour les bois, et sont en dissidence dans leur point de départ lorsqu'il s'agit des métaux. Il montre que l'expérience n'établit aucun rapport exact entre les charges et les allongements définitifs correspondants; par conséquent, qu'il y a impossibilité de conclure, d'un allongement ou d'une flexion observée, le taux auquel travaille le solide, et il conclut à prendre pour base des calculs la résistance à la rupture, qui présente à l'expérience une constance relative remarquable.

Dans le troisième chapitre, l'auteur examine l'effet des prescriptions administratives sur les rails, et il fait voir combien il est illogique de fixer pour ces poutres un poids par mètre courant, sans fixer aussi l'espacement des traverses, c'est-à-dire la portée des travées, non plus que la limite des charges qu'elles doivent recevoir, c'est-à-dire sans fixer une relation entre la résistance du métal et le travail auquel il est soumis.

Dans le dernier chapitre, M. Love conclut, de l'examen des faits ci-dessus mentionnés, que pour remédier aux inconvénients des prescriptions en vigueur, on abandonne la limite d'élasticité, et que, prenant pour base des ordonnances la résistance des solides à la rupture, on leur donne une résistance statique égale à cinq ou six fois la charge maxima qu'elles peuvent avoir à supporter, si cette charge est de nature à produire des vibrations; ou une résistance seulement égale à trois fois la charge de rupture, si les efforts auxquels le solide est soumis résultent de l'application d'un poids mort.

Enfin, comme complément de ces dispositions, et en vue de faire disparaître les moyennes de résistance, M. Love fait appel aux ingénieurs pour fonder une association, dont le but serait d'expérimenter les matériaux de diverses provenances et de diverses natures pour en porter les résultats à la connaissance de tous, de manière à entretenir une sage émulation entre les maîtres de forge, et arriver à l'amélioration de la qualité des métaux.

M. Emile Barrault soumet ensuite à la société le dessin d'une nouvelle machine à vapeur anglaise.

SÉANCE DU 16 SEPTEMBRE 1859.

Présidence de M. E. Vuigner, *vice-président.*

M. le président annonce que cinq membres de la société, MM. de Dion, Lacombe, Machecourt, Martenot aîné et Henri Schlumberger, ont été nommés chevaliers de la légion d'honneur.

M. Ch. Laurent présente à la société des spécimens de tuyaux en cuivre rouge et en cuivre jaune étirés par un procédé anglais.

Les tuyaux en cuivre rouge reviennent en Angleterre, par ce procédé, à.	4 f.	le kil.
Les droits de douane sont de.	2 40	
Ce qui fait ressortir ici le kil. à	6 40	

Lorsque ces tuyaux sont destinés à la fabrication des étoffes, les droits de douane sont réduits à 10 cent. le kil., en sorte que le kil. revient seulement à 4 fr. 10 c. en France non compris le transport.

Le procédé consiste à percer un bloc de cuivre avec deux mandrins coniques agissant en sens contraire, et à l'étirer ensuite.

A Audincourt, on fabrique des tuyaux par le procédé Gueldry et Palmer, qui consiste à former une calotte emboutie, à la percer, et à l'étirer ensuite.

Il faut remarquer que si le prix des tuyaux d'Audincourt est plus élevé que celui indiqué par M. Laurent pour les tuyaux anglais, cela tient à ce que ces tuyaux sont d'un diamètre et d'une épaisseur beaucoup plus faibles que ceux anglais.

M. Alcan se charge d'apporter à la prochaine séance des renseignements détaillés sur les tuyaux d'Audincourt.

M. Richoux donne ensuite communication d'un nouveau système de clôtures très-économique, que la compagnie des chemins de fer du Midi a adopté pour la ligne de Mont-de-Marsan à Tarbes, et qui peut s'appliquer dans un très-grand nombre de cas.

Ces clôtures se composent de piquets en châtaigniers, ou en pin préparé à la créosote ou au sulfate de cuivre, ayant $1^m,80$ de longueur et $0^m,35$ de circonférence moyenne, espacés de 5 mètres, et sur lesquels sont fixés, au moyen de crochets à deux pointes, quatre fils de fer galvanisés de $0^m,004$ de diamètre, distants entre eux de $0^m,25$, et tendus tous les 200 mètres à l'aide de petits tendeurs.

Aux abords des stations et des ouvrages d'art, ce système de clôture se trouve consolidé par des treillages composés de lattes en bois de chêne ou de châtaignier, espacées de $0^m,10$, et ayant $1^m,15$ de hauteur sur $0^m,02$ de largeur minima, et reliées entre elles par quatre tours de fil de fer de $0^m,0012$ de diamètre. Ces treillages sont fixés d'une part aux piquets composant la première clôture, d'autre part aux fils de fer et à des piquets supplémentaires placés au milieu de l'intervalle des premiers.

Les clôtures en fil de fer galvanisé sans treillage ont coûté 0 fr. 42 c. par mètre courant. Celles en fil de fer avec treillage ont coûté 1 fr. 16 c. les transports étant à la charge de l'entrepreneur. Enfin il est bon de remarquer que dès que les haies vives sont suffisantes pour dispenser des clôtures sèches, tout le fil employé dans ces dernières devient utilisable pour l'entretien des lignes télégraphiques.

M. Camille Tronquoy fait ensuite l'analyse détaillée de l'ouvrage de M. Love intitulé : ***Des diverses résistances et autres propriétés de la fonte, du fer et de l'acier, et de l'emploi de ces métaux dans les constructions.***

L'ouvrage, offert par l'auteur à la Société, ne contient que les faits relatifs à la résistance des métaux par traction ; bientôt il sera suivi d'un ou plusieurs autres volumes complétant celui-ci par l'étude des résisances à la compression et à la flexion.

Quand un corps est soumis à des efforts de traction allant en croissant, deux phénomènes distincts se produisent ; l'allongement d'abord, la rupture ensuite.

M. Love étudie successivement ces deux phénomènes, et, d'après les expériences faites par les auteurs français et étrangers, et les expériences

faites sous sa direction, il confirme les assertions qu'il avait émises en 1852 dans un mémoire imprimé dans notre bulletin, assertions qu'il formule ainsi (pages 3, 4 et 5) :

1° La proportionnalité entre l'allongement et la charge n'existe pas pour la fonte d'une manière absolue; et pour le fer doux, cette loi ne peut s'affirmer en général que pour des charges comprises entre zéro et la moitié de celle qui produirait la rupture instantanée.

2° Un allongement permanent se manifeste sous les plus petites charges, et le point où les allongements croissent beaucoup plus vite que ces charges est très-variable, même dans les fers de même provenance. Par conséquent, la limite d'élasticité, en tant qu'elle existe, n'a pas le caractère défini qu'on lui a attribué, et perd forcément toute importance aux yeux du praticien.

3° Sous la même charge, la fonte s'allonge beaucoup plus que le fer.

4° Les écarts considérables de résistance observés sur les échantillons de fer ou de fonte de même calibre, mais de provenances diverses, ne permettent en aucune façon de compter sur une *moyenne de résistance*. Il en résulte que lorsqu'on ne connaît pas la résistance particulière du métal dont on dispose, la prudence conseille d'adopter le taux minimum de résistance fourni par l'observation.

5° Le fer et la fonte, soustraits aux chocs ou aux vibrations, supportent indéfiniment les charges les plus voisines de celles capables de produire la rupture instantanée.

6° Les formules tirées de la théorie en vigueur ne peuvent être appliquées qu'après avoir subi des transformations importantes.

M. Love justifie ensuite ses diverses assertions, et il insiste tout spécialement à la non-proportionnalité de l'allongement et de la charge, par les expériences de M. Hodgkinson, qui ont confirmé les faits énoncés en 1829 par M. Bornet.

Mais M. Love fait remarquer que pour la fonte une loi régulière et générale relie l'allongement à la charge.

C'est ce que M. Love appelle la *loi d'élasticité naturelle*, parce que dans la fonte les molécules prennent les arrangements et la position qui conviennent le mieux à leurs affinités puisqu'elles ne sont dérangées par aucune action mécanique extérieure. Tandis que dans le fer, les molécules, par suite du travail auquel elles ont été soumises, s'arrangent dans un équilibre instable, que les chocs, les vibrations, viennent détruire, en altérant la qualité recherchée dans le métal.

M. Love désirerait, qu'abandonnant la routine, on cherchât à perfectionner chacun des métaux employés dans l'industrie, qu'on les fabriquât spécialement pour l'usage particulier auxquels ils sont destinés; que par des mélanges de fonte, par des alliages et des combinaisons chimiques nouvelles, on cherchât à augmenter la résistance du fer, de la fonte et de l'acier, chacun d'eux devant trouver sa place dans l'industrie, sans que le préjugé ou la mode fît préférer l'un ou l'autre dans tous les cas.

M. Love étudie successivement les effets de traction sur la fonte, sur le fer en barre, en fil, en tôle, et sur l'acier, examinant d'abord pour chaque

métal les phénomènes qui se produisent pendant l'allongement, et ensuite ceux qui se présentent au moment de la rupture ; il établit les faits suivants : Des fontes dont la résistance à la rupture s'écartent peu de 1,100 kilogr. par c/m. q. ne peuvent s'allonger au delà de $\frac{1}{600}$ de leur longueur sans se rompre (Hodgkinson).

A un point très-éloigné de celui de rupture, la fonte retient déjà un allongement permanent, c'est-à-dire que, la charge étant enlevée, elle ne reprend pas entièrement sa longeur primitive; il n'y a donc pas de limite d'élasticité, ou au moins cette limite est atteinte avant que la charge n'égale $\frac{1}{7}$ de la charge de rupture.

Les allongements ne sont pas proportionnels aux charges, ils croissent plus rapidement.

La formule qui lie les allongements aux charges est .

$$P = 6958 \frac{A}{L} - 188500268 \frac{A^2}{L^2}$$

dans laquelle :

P, est le poids en kilogr. dont est chargé la barre par centimètre carré.

A, l'allongement en centimètres.

L, la longueur en centimètres.

Lorsque l'on a cassé une barre, les tronçons restant ont une résistance à la rupture supérieure à celle primitivement observée, des allongements permanents plus faibles, mais des allongements instantanés qui restent sensiblement les mêmes.

Fer.—L'emploi qu'on a fait du fer comme tirant, comme cable, etc., rend très-importante l'étude de sa résistance aux efforts de traction.

Lorsque le fer est soumis à des efforts de traction, l'allongement présente deux phases distinctes :

Dans la 1re phase, jusqu'à une certaine limite très-variable, suivant la nature et le calibre du fer, les rapports des charges aux allongements, tout en diminuant à la vérité de quantités très-faibles, peuvent être regardés comme constants. Puis dans la 2e phase, à partir de la limite précédente, les allongements croissent plus rapidement que les charges. Il est à remarquer en outre qu'il semble résulter des expériences de M. Bonet et de M. Hodgkinson que dans la 1re phase les allongements sont d'autant plus petits que les barres sont plus fortes, tandis que dans la 2e phase l'inverse a lieu.

Dans la 1re phase de l'allongement, une barre restant continuellement chargée atteint, au bout de quelques instants, son degré définitif d'allongement ; dans la 2e phase, l'allongement est plus grand dans les premiers moments que l'allongement définitif qu'aura la barre ; puis elle revient à la longueur qu'elle conservera indéfiniment et cela pour des charges très-voisines du point de rupture.

En un mot, dans la 1re période où l'élasticité du fer suit sensiblement la loi de proportionnalité, une barre de ce métal atteint, dans les premiers instants, sous la charge, son degré définitif d'allongement : le fer soustrait aux chocs et aux vibrations peut porter indéfiniment une charge voi-

sine de la rupture sans s'allonger définitivement plus qu'il ne l'a fait au bout de quelques heures d'action de la charge.

Si l'on rapproche l'allongement instantané du fer de celui de la fonte, on voit qu'il est un peu moins de moitié de celui de la fonte ; l'allongement permanent n'en est que le $\frac{1}{20}$;

Mais, lorsqu'on compare ces allongements près du point de rupture pour la fonte, et près du point où les allongements ne sont plus réguliers pour le fer, on voit que l'allongement instantané du fer est presque égal à celui de la fonte, et l'allongement permanent le double à la limite extrême de sa résistance ; l'allongement permanent du fer est sensiblement égal à l'allongement instantané de ce même métal, tandis que pour la fonte, à cette limite extrême, l'allongement permanent n'est que le $\frac{1}{8}$ de l'allongement instantané.

Les expériences faites par MM. Hodgkinson, Gouin, Lavalley, etc., confirment pour les tôles essayées à la traction les faits qu'on vient d'indiquer pour les fers en barres.

Pour les fils de fer, des expériences très-complètes sont dues à MM. Vicat, Leblanc et Séguin. D'après ces expériences, M. Love conclut que, lorsqu'il ne s'agit que d'efforts momentanés, le fil de fer semble avoir sur le fer en barres une supériorité marquée parce qu'il présente tous les caractères attribués à l'élasticité parfaite sous une charge qui, à section égale, ferait rompre le premier. Mais que le fer en barre lui est supérieur pour résister à un effort longtemps prolongé, puisqu'il peut supporter indéfiniment les charges les plus voisines de celles de rupture.

Lorsque l'on expérimente des fils de fer, au commencement les allongements sont plus grands qu'ils ne devraient l'être par rapport aux charges ; cela tient à ce que le fil se redresse, que les cosses ou inflexions du fil disparaissent (il faut 300 à 350 kilogr. par c/m. q. pour produire cet effet) ; mais, à part ces faits, les résultats précédemments rapportés pour le fer en barre se reproduisent. La loi de proportionnalité de la charge à l'allongement est exacte pour des charges plus élevées que pour le fer en barre, mais elle paraît devoir cesser vers le $\frac{2}{3}$ ou le $\frac{3}{4}$ de la charge de rupture.

Pour l'acier, les expériences faites par M. Lavalley sur les aciers de Jackson et par M. Tenbrinck sur des aciers de diverses provenances sont trop peu nombreuses et faites sur des échantillons trop petits pour pouvoir servir à déterminer des lois bien exactes ; néanmoins M. Love pense que d'après ces expériences on peut conclure pour l'acier une loi régulière d'allongement, qui n'est pas celle de proportionnalité depuis les plus petites charges jusqu'aux plus grandes.

Malgré le peu de certitude du coefficient d'allongement pour les fers et les aciers, M. Love a cherché à traduire par des formules la loi de l'allongement du fer et il en propose plusieurs de la forme $\frac{PL}{M}$, dans lesquelles P est le poids en kilogr. agissant par centimètre carré sur une barre ou un fil de longueur L ; M un coefficient dépendant de la nature du fer à employer et de la tension initiale qu'il a subi ; L est la longueur qu'a le fil après avoir subi cette tension, dont il est d'ailleurs tenu compte dans le coefficient M.

Enfin, M. Love résume dans un tableau comparatif les allongements dus

à des charges diverses pour les différentes espèces de fer, la fonte et l'acier; et, d'après ce tableau, il fait remarquer que la fonte, près de sa limite de résistance, s'allonge 3 fois autant que le fer de petit échantillon et l'acier, et que vers le $\frac{1}{6}$ de sa résistance absolue, la différence est encore du simple au double. Il suit de là qu'on ne peut rationnellement associer le fer à la fonte pour résister à un même effort de traction. M. Love aurait dû ajouter, ce qui d'ailleurs est implicitement renfermé dans ce qu'il dit plus loin au sujet des moyennes de résistance, que l'allongement des fers variant également, il est vrai avec un moindre écart, il semble qu'on ne devrait pas associer pour un meme travail des fers de diverses sortes.

M. Love passe ensuite aux expériences poussées jusqu'à la rupture. Pour les fontes anglaises, la résistance résultant des expériences de M. Hodgkinson varie entre 777 kilogr. et 1,811 kilogr. (1) par centimètre carré, suivant la provenance, et on ne peut admettre une moyenne générale de résistance. Mais au contraire on peut admettre des moyennes locales qui seraient pour les fontes de Marquise en France 1,811 ou 1,832 kilogr. par c/m. q.; pour les fontes des Landes, suivant l'usine de provenance 1342, --- 1555 --- 1424; pour les fontes de Bességes, 1,800 kilogr.; pour les fontes de Mazières, et certaines de Commentry 1,446; et il n'y a dans toutes ces moyennes que des écarts de $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{3}$ entre la plus forte résistance et la plus faible.

La variation de la résistance absolue provient de la nature des minérais employés et aussi de la dimension des barres expérimentées, comme le démontrent les expériences faites par M. Lainé à l'usine de Torteron, où les barres de fort échantillon ont donné une résistance moyenne de 1,441 kilogr.. tandis que des barres plus minces ont donné une résistance de 2,080 kilogr. par c/m. q..

Ayant ainsi établi le coefficient de résistance qui doit être appliqué dans l'industrie pour le calcul des objets fabriqués en fonte, M. Love examine les formules adoptées ou proposées avant lui pour les tuyaux de conduite, les cylindres des machines à vapeur, des presses hydrauliques, etc.

De l'examen de ces formules et des appareils construits d'après elles, il résulte que, jusqu'à ce jour, on a donné, dans la plupart des cas, des épaisseurs exagérées, soit en employant des fontes qui avaient une résistance plus grande que celle admise dans le calcul, soit en adoptant des formules dans lesquelles le coefficient de sécurité est trop élevé;

M. Love propose d'adopter, pour les conduites d'eau, la formule générale pour tous les cylindres

$$E = \frac{N \times 1.033 \times D}{2\,T}$$

ou plus spécialement

$$E = \frac{6\,N \times D}{2\,T} + 0.7$$

dans laquelle

E est l'épaisseur à calculer en centimètres;

(1) Ce qui n'empêche pas l'auteur anglais d'établir une moyenne générale pour les fontes du pays.

N le nombre d'atmosphères effectives dans la conduite, y compris le nombre d'atmosphères produisant un effet égal aux coups de bélier qui peuvent se produire;

D le diamètre en centimètres;

T la résistance par c/m. q. de section de la fonte employée; résultat qu'on triplera ou qu'on sextuplera pour s'assurer la sécurité.

M. Love compare cette formule avec celles données par les divers auteurs, et il fait voir que, bien que ces dernières admettent un coefficient de sécurité de 5 ou 6, elles peuvent mettre en défaut l'ingénieur qui les adopte, parce qu'elles supposent pour les fontes une résistance moyenne constante, quelle que soit leur provenance, et, qu'en outre, elles sont tout à fait empiriques; qu'elles ne permettent pas au praticien de se rendre compte de ce qu'il fait, laissant ainsi au fondeur la facilité d'employer des fontes d'une qualité inférieure, malgré les épreuves d'essai. Ces formules donnent, pour les fontes de mauvaise qualité, un coefficient de sécurité trop faible, et, pour les fontes de bonne qualité, un coefficient trop fort, comme l'a démontré la grande expérience faite dans l'usine de Fourchambault, lorsqu'il s'est agi de fournir les tuyaux pour la distribution d'eau de Madrid. En effet, cette usine, en fondant avec de la fonte de bonne qualité des tuyaux d'épaisseur réduite, l'a emporté, grâce aux économies faites sur le poids, tant au point de vue de la matière qu'au point de vue des transports, sur ses concurrents d'Ecosse, qui étaient forcés, pour satisfaire aux épreuves imposées, de donner des épaisseurs considérables à leurs tuyaux.

M. Love examine ensuite la dimension des tuyaux en fonte, et leur prix dans le commerce; il fait voir qu'en adoptant les épaisseurs résultant de la formule qu'il propose, il y aurait possibilité d'obtenir des économies considérables; et, à ce sujet, il entre dans quelques détails pour l'application des tuyaux en fonte de grand diamètre pour la traversée des vallées par les canaux d'alimentation d'eau des grandes villes : par exemple, à Roquefavour, en établissant un syphon; à Rochefort, en établissant la conduite d'eau sous la Charente, au lieu des aquéducs coûteux construits sur le type de ceux élevés par les Romains, qui, n'ayant pas à leur disposition le métal précieux dont nous nous occupons ici, avaient dû reculer devant la dépense de conduites en plomb. Il est à observer d'ailleurs que le service d'alimentation d'eau de New-York se fait par des conduites de fonte qui traversent la vallée de Manhattan.

M. Love propose d'appliquer cette même formule des tuyaux aux cylindres des machines à vapeur, en tenant compte toutefois du surcroît d'épaisseur nécessaire pour permettre plusieurs alésages, et il indique quelques précautions à prendre dans la coulée pour qu'il n'y ait pas de contractions inégales pendant le refroidissement.

Cette formule, selon M. Love, serait encore applicable aux cylindres des presses hydrauliques; mais là il faudrait tenir compte, plus encore que pour les cylindres de machines à vapeur, des défauts de fabrication et de la diminution de résistance qui se produit toujours lorsque la fonte a de grandes épaisseurs. M. Love s'étend longuement sur la construction de ces

cylindres, et il fait voir que le raisonnement, aussi bien que l'expérience, devait conduire à la forme ovoïde adoptée pour le fond des presses qui ont servi au levage des poutres du pont Britannia. Il fait remarquer, en outre, que la pratique a montré que le coefficient de résistance des presses avait une certaine limite qu'on ne pouvait dépasser. Cette opinion est d'ailleurs d'accord avec celle de Redtenbacher, qui a donné une formule pour le calcul des presses hydrauliques; mais cette formule donne une limite trop faible. M. Love complète ce chapitre en rapportant les dimensions qui ont été données à diverses presses hydrauliques construites en Angleterre, par Stephenson et Clarke; à Graffenstaden, par M. Messmer; par M. Calla et par le Creusot.

Dans son quatrième chapitre, M. Love étudie la résistance finale à la rupture par traction du fer et de l'acier.

Les expériences les plus anciennes sont celles de Rondelot et de Soufflot; les chiffres obtenus dans ces expériences, aussi bien que ceux attribués à Buffon et Péronnet, et rapportées par Dulau, présentent des écarts tellement considérables, qu'il est impossible de s'en servir comme base de raisonnements sérieux; mais ils montrent bien évidemment qu'il est irrationnel d'admettre une moyenne de résistance à la rupture.

Les premières expériences qui aient éclairé quelque peu la question sont dues à M. Emile Martin, en 1834; et ces expériences prouvent que, si le praticien ne peut admettre une résistance moyenne générale, il peut sans danger admettre des moyennes locales, c'est-à-dire des moyennes pour chaque provenance, et que, pour les fers en barre, la résistance paraît diminuer en raison inverse des dimensions transversales.

En passant, l'auteur, avec M. Brunel, fait observer que les indices sur la résistance données par une cassure faite au marteau n'ont rien d'absolu, et qu'on peut à volonté obtenir une cassure à grain ou une cassure à nerf d'un même échantillon; que, pour que les cassures donnent des indications certaines et comparables, il faut qu'elles soient obtenues par traction directe continue et sans choc.

M. Love revient, d'ailleurs, sur ce fait que presque tous les fers, dont la résistance à la rupture n'a varié que de $\frac{1}{9}$ à $\frac{1}{28}$ en plus ou en moins de la résistance moyenne, ont donné des allongements très-variables; allongements qui, pour les fers de Rigny par exemple, variaient du simple au double, et, pour les fers du Creusot, du simple au triple; pour les fers de la Moselle, du simple au quintuple.

Les fers à rivets, dont la résistance absolue est de 4,000 kilos par c./m. q., donnent des résultats identiques, ainsi que l'ont démontré les expériences de MM. Lavalley et Tenbrinck, et celles faites sous sa direction par MM. Fauro et Houlbrat.

Il en est de même encore pour les fils de fer servant aux ponts suspendus; mais la résistance de ces fils varie avec leur diamètre, et il existe plusieurs maxima de résistance correspondant à différents diamètres; ces maxima, d'ailleurs, suivent une certaine loi qui semble bien démontrée par les expériences de M. Seguin, bien que celui-ci ne l'ait pas reconnue. Ceci confirme la loi qui a été énoncée déjà plusieurs fois de la variation

de la résistance du fer avec son calibre, et montre la loi suivant laquelle a lieu cette variation, due probablement à certains groupements particuliers des molécules, par suite du travail qu'on fait subir au fer.

On a voulu se rendre compte de l'effet d'une charge continue sur le fil de fer, et il résulte des expériences de M. Leblanc que, bien que l'augmentation de l'allongement des fils de fer fût progressive pendant qu'ils étaient soumis à un effet de traction, la résistance finale n'était pas diminuée, et qu'ils pouvaient supporter pendant un temps très-long une charge égale aux $\frac{9}{10}$ de celle qui les ferait rompre.

Résistance de la tôle à la traction. Les expériences faites sur la résistance des tôles à la rupture par traction sont peu nombreuses; mais celles dues à M. Edwin Clarke démontrent une fois de plus que, si les allongements varient beaucoup, la résistance à la rupture ne varie que de $\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{9}$ en plus ou en moins de la résistance moyenne par le métal de même provenance, et qu'on ne peut baser de théorie sérieuse sur l'allongement du métal.

M. Love cite les expériences faites par M. Edwin Clarke et par M. Lavalley, qui confirment la différence observée antérieurement par d'autres expérimentateurs sur la résistance de la tôle dans le sens des fibres ou dans le sens perpendiculaire. La traction dans le sens du laminage produit un allongement plus grand (double) que la traction dans le sens perpendiculaire; mais, en même temps, le métal résiste plus longtemps avant de se rompre. Il est à remarquer, d'ailleurs, que les tôles provenant de fonte au coke ont une résistance finale plus grande que les tôles provenant de fontes au bois, contrairement à l'opinion généralement admise, et que, d'après M. Fairbairn, il serait possible d'obtenir des tôles ayant la même résistance dans les deux sens en croisant les mises dans les paquets.

Pour compléter les expériences faites sur les tôles et les fers ordinaires, M. Love a eu l'idée de déterminer, par des essais, la résistance des différentes parties des cornières et des fers spéciaux de diverses provenances destinés à entrer dans la construction des ponts métalliques commandés chez MM. Gouin et Cie pour les ponts des chemins de fer du Midi. Ces expériences et celles faites sur les fers employés dans les ponts des Chemins Russes ont montré que la résistance était à peu près uniforme dans toutes les parties, et sensiblement égale à la résistance moyenne des fers de la même provenance, quoiqu'il y ait, en général, une petite augmentation dans les parties les plus extérieures, qui sont en général les plus minces, ce qui confirme encore la loi de la résistance en raison inverse des dimensions.

Les fers feuillards, essayés par MM. Flachat et Petiet, ont présenté des résistances analogues.

Enfin, M. Love termine ce chapitre en citant des expériences faites par M. Tenbrinck sur des aciers de diverses provenances.

Il résulte de ces expériences que le taux de résistance, quoique variant beaucoup d'un acier à l'autre, l'emporte de beaucoup sur celui du fer. En effet :

Les aciers anglais pour outils ne rompent qu'à 8,118 kil. par c./m. q.;
Les aciers Petin et Gaudet, à 7,000 kil.;

Les aciers doux de Gouvy et Jackson, à 4,800 kil.;
Les aciers Sonderson, à 5,447.

Mais c'est le double à peu près de la résistance du fer, et il y aurait avantage dans bien des circonstances à substituer l'emploi de l'acier à celui du fer, surtout si, comme on l'espère, on peut arriver à le fabriquer à meilleur marché qu'on ne le fait aujourd'hui. L'acier se prêtant à la fois au moulage et à la forge, on pourrait obtenir des pièces d'une très-grande résistance et d'une légèreté tout à fait remarquable.

Des essais dans ce genre ont déjà été tentés; mais on a beaucoup employé l'acier puddlé, qui n'offre qu'en partie les avantages de l'acier fondu, sa texture étant moins homogène.

Dans tous les cas, il faut se garder de grouper les résistances des divers aciers, et, pour l'application, d'adopter une moyenne générale tout à fait inadmissible, comme l'a fait M. Gaudry.

Dans le chapitre 5, M. Love étudie la résistance à la rupture par traction de la tôle assemblée par des rivets, et accessoirement de la résistance des rivets au cisaillement.

Lorsque des tôles sont réunies par des rivets, il y a à examiner deux choses, l'affaiblissement de la tôle, la résistance des rivets. M. Love pose en principe que pour que la rivure soit aussi bonne que possible, il faut qu'elle ne cède qu'au moment même où la tôle va céder. La résistance de cette rivure résulte de deux résistances : la résistance propre du rivet, qui est cisaillé par les tôles; et la résistance due au serrage des têtes de rivet, résistance de frottement. M. Edwin Clarke et M. Lavalley ont essayé de déterminer la résistance due au serrage, et cette résistance a été trouvée égale à environ 1,200 kil. par c. m. q. de section du rivet.

Mais cet effet de serrage si énergique a l'inconvénient de décolter quelquefois les têtes de rivets; et, lorsque les épaisseurs sont grandes, il faut refroidir le corps du rivet avant de faire la seconde tête.

Quant à la résistance au cisaillement, M. Love conclut d'un grand nombre d'expériences, dues aux mêmes ingénieurs, qu'elle peut être estimée aux $\frac{2}{3}$ de la résistance par traction pour chaque plan de cisaillement.

Partant de ce fait, M. Love recherche qu'elle doit être la meilleure disposition à adopter pour la rivure proprement dite et les couvre-joints, il passe en revue les différents systèmes employés, il propose d'admettre pour chaque joint de tôle deux couvre-joints, avec le nombre de rivets nécessaires, en files parallèles.

M. Love examine ensuite à quelle distance les rivets doivent être placés soit les uns des autres, soit de l'extrémité de la tôle à river; et il conclut, d'après ce qu'il vient d'être dit, que ces distances doivent être égales entre elles, et déterminées par la condition de la rupture simultanée de la rivure et de la tôle.

M. Love, dans le chapitre 6, examine les applications du fer et de l'acier sous leurs diverses formes aux appareils et constructions connus dans l'industrie, aux chaudières à vapeur; aux tuyaux de conduite, système Chameroy; aux réservoirs d'alimentation d'eau, aux chaines-cables en fer, aux

chaînes de mécaniques, aux chaînes de ponts suspendus, aux cables en fil de fer.

Il étudie à la fois les conditions de fabrication et les perfectionnements dont elles seraient susceptibles; il insiste tout particulièrement pour l'adoption de l'acier dans la construction des chaudières à vapeur, mais à la condition que les réglements administratifs en vigueur soient supprimés, ou au moins qu'ils tiendront mieux compte de la résistance réelle du métal.

Il signale les avantages que présente l'emploi des réservoirs d'alimentation en tôle, et il décrit les dispositions adoptées au chemin de fer du Midi, et dont M. Richoux a déjà rendu compte à la société.

Pour les chaînes-cables, M. Love recommande les chaînes à étançons, et il propose un nouveau mode de fabrication pour des chaînes à étançons en fer obtenues par soudure au marteau pilon.

Quant aux chaînes employées à des travaux qu'on peut appeler mécaniques, M. Love cite l'application faite au touage à vapeur, aux grues, et à une des machines locomotives présentées au concours ouvert, pour franchir le Sommering. Il examine l'emploi et le mode de construction de la chaîne à la Vaucauson et de la chaîne Galle; il cite comme exemple l'application faite à la grue Nepveu, et aux grandes grues fixes des gares à marchandises de chemins de fer, aux grues mobiles; il fait observer qu'en général, les chaînes Galle cèdent par la ganse du maillon, et il indique la forme qu'il convient d'adopter pour se mettre à l'abri de cet inconvénient.

L'auteur s'étend en de longs détails sur les chaînes qui ont été employées pour les travaux de levage du pont de Menai, et il analyse des expériences dues à MM. Leblanc, Vicat et Séguin, pour la construction et la résistance des cables des ponts suspendus; il fait ressortir l'avantage qu'il y aurait eu à exécuter un pont suspendu pour faire franchir le val de Roquefavour au canal de Marseille, en observant d'ailleurs que cette solution avait été proposée depuis longtemps en France dans une autre circonstance et avait été adoptée pour un canal de navigation en Amérique.

M. Love admet d'ailleurs qu'il est possible de construire des ponts suspendus donnant passage à des trains de chemin de fer; il rapporte les diverses solutions projetées, et il indique qu'il serait avantageux de construire des ponts suspendus dont les cables seraient en fers feuillards superposés.

Dans le chapitre 7, M. Love examine la résistance du fer à certains efforts se rapprochant de celui de cisaillement, par exemple l'effort exercé par un écrou sur un pas de vis, par une poinçonneuse, par une cisaille, et il détermine les dimensions à donner à ces pièces ou outils. Enfin, M. Love termine son livre en étudiant la résistance aux efforts de torsion, et il indique que la résistance à la torsion est double de la résistance à la traction.

Les essieux des machines, les arbres, etc., ont tous à résister à l'effort de torsion, mais, en outre, à des efforts transversaux dont il doit être tenu compte.

En tous cas, en calculant la résistance aux divers efforts auxquels les essieux sont soumis, on trouve qu'ils doivent offrir un peu d'excès de résistance, et l'on reconnaît que la condition qui fixe définitivement les dimensions des fusées est d'une nature toute différente. C'est, en effet, celles

sous lesquelles le graissage est possible, efficace; et pour cela l'expérience indique que dans les essieux tournant avec une grande vitesse la charge par c/m. q. de surface d'appui sur l'essieux ne doit pas dépasser 25 à 30 kilogrammes.

L'ouvrage de M. Love se termine par un appendice, faisant appel aux ingénieurs et chefs d'usines, afin d'augmenter de plus en plus la masse des faits d'observation. Il donne des modèles de tableaux dans lesquels viendraient se ranger les nouveaux faits observés et qu'il y aurait intérêt à adopter pour que les résultats obtenus fussent comparables.

M. le président fait remarquer que l'ouvrage de M. Love contient tant de faits, tant d'aperçus divers, qu'il était très-difficile de les signaler tous. Il croit donc être l'interprète de la Société, en remerciant M. Tronquoy pour la consciencieuse et intéressante analyse qu'il a bien voulu faire de ce livre.

M. Benoit Duportail présente ensuite un modèle en bois, au cinquième d'exécution, des étampes servant à la fabrication des essieux coudés par le procédé de M. Laubenière. Il fait ressortir les différences qui existent entre le procédé actuel et celui décrit il y a trois années par M. Étienne, membre de la société, et qui consistent en ce que :

1° Les équerres, sur lesquels s'appuie l'essieu pendant qu'on fait le pliage des coudes après avoir préparé des bossages convenables à l'aide d'un mandrin en quelques coups de pilon, reposent sur un noyau à base hélicoïdale dont on règle facilement la descente à chaque coup de pilon, au lieu de reposer sur des cales en forme de coins, dont on réglait la hauteur de sentiment.

2° M. Laubenière a supprimé la panne du marteau qui enfonçait le fer à chaque coup, et il fait frapper le marteau à plat sur les angles à la naissance des manivelles, en sorte que les coudes sont pliés successivement par le rapprochement des manivelles de manière à éviter les chances d'altération des angles que l'on rencontrait dans le premier procédé.

3° A la fin du pliage, les équerres s'échappent de chaque côté du noyau, et les manivelles viennent reposer sur ce noyau, qui sert alors de chabotte, et elles se trouvent contreforgées.

Il est inutile d'insister sur ces modifications, dont les avantages sont sensibles à première vue.

M. Benoit-Duportail rappelle, en terminant, que la fabrication de M. Laubenière est faite avec beaucoup de soins, que le fer employé est d'une excellente qualité, et que les essieux ainsi obtenus doivent certainement donner de très-bons résultats.

M. Vuigner donne ensuite de nouveaux renseignements sur les fondations du pont sur le Rhin, à Kehl.

On se rappelle que les fondations de la pile-culée de la rive française sont terminées depuis deux mois environ; les fondations de la pile-culée de la rive badoise viennent d'être terminées. On avait mis soixante-huit jours

pour opérer la descente des caissons de la première de ces piles à une profondeur de 20 mètres au dessous de l'étiage; cette opération n'a duré que trente-cinq jours pour la dernière pile, dans les mêmes conditions de profondeur.

Pour la pile-culée de la rive française, on avait employé quatre caissons, garnis chacun de deux cheminées à air, et d'une cheminée à eau, et surmontés de coffrages en bois, dans lesquels on avait coulé du béton au fur et à mesure du fonçage des caissons. La maçonnerie de béton a été formée ainsi de quatre blocs, et ce n'est qu'à une certaine hauteur qu'on a supprimé les garnitures en madriers sur les côtés en contact des coffrages en bois, pour n'établir qu'une seule masse de béton.

Pour la pile-culée de la rive Badoise on a supprimé complètement les coffrages en bois, et on a construit les maçonneries à sec au dessus des caissons au fur et à mesure de leur descente, en formant ainsi un seul bloc d'une longueur de 23 mètres 20 sur une largeur de 7 mètres, dont les parements extérieurs sont en grès Vosgien et le complément en béton.

On a supprimé aussi les cheminées de service en tôle, aux rivets desquelles les godets des norias s'étaient accrochés si souvent à la première pile-culée, et l'on s'est borné à former les cheminées dans la masse des maçonneries, en les parementant en briques et en leur donnant une section elliptique, qui est plus convenable pour le mouvement des dragues.

Pour rendre plus efficace la surveillance des travaux de fonçage, on a établi des portes de communication d'un caisson à l'autre, ce qui a permis ainsi de reporter plus facilement les ouvriers sur le point où leur présence était le plus nécessaire.

M. Vuigner fait observer que la descente des caissons s'est faite avec tant de régularité, qu'on a pu la régler rigoureusement sur la hauteur de la tranchée de maçonnerie qu'on pouvait exécuter chaque jour.

Les deux piles intermédiaires qui restent à fonder ont moins d'importance que les piles culées, puisqu'on n'emploiera que trois caissons au lieu de quatre. On peut dire aujourd'hui avec toute assurance que les fondations de ces piles seront terminées avant la fin de cette année, et même que le pont pourra être complètement achevé à la fin de l'année prochaine.

MÉMOIRE N° VII

SUR LA TRAVERSÉE DES ALPES

PAR

UN CHEMIN DE FER

PAR M. E. FLACHAT.

La facilité des communications entre la Lombardie et le Rhin, à travers la Suisse, a été l'une des préoccupations principales de l'un des hommes les plus éclairés de la ville de Bâle et les plus pénétrés du désir de faire des choses utiles à leur pays (1).

En relation d'affaire et d'amitié avec lui pendant bien des années, j'avais pu apprécier l'importance de la question, lorsque l'occasion se présenta pour moi d'en examiner, je ne dirai pas étudier, les moyens d'exécution.

J'ai visité quatre fois depuis deux ans, le passage du Saint-Gothard, dans le but de reconnaître les difficultés de le franchir par un chemin de fer; les deux premières fois, en

(1) M. Benoît Laroche, de Bâle.

compagnie de M. Koller, ingénieur du Central Suisse, qui a été choisi, en 1852, comme ingénieur fédéral, délégué de la Confédération, pour faire partie de la Commission constituée par les trois gouvernements de Sardaigne, de Prusse et de Suisse, et chargée d'indiquer le chemin de fer le plus convenable pour relier l'Allemagne et la Suisse avec l'Italie.

M. Koller est aujourd'hui l'ingénieur le mieux renseigné sur les différents passages proposés ou projetés sur les Alpes, et son rapport spécial, annexé à celui de la Commission, contient tous les éléments généraux et importants de la question; il avait terminé l'étude détaillée du projet de passage quand nous l'avons visité ensemble.

A l'exception du passage du Simplon que je viens de traverser deux fois pour l'étudier, je ne connais les autres passages que par les documents et particulièrement par le rapport et les travaux de M. Koller.

J'ai longuement réfléchi aux dispositions que je propose : je n'y suis pas arrivé du premier coup. C'est avec le temps et après de longues réflexions que mes idées, à cet égard, ont pris assez de consistance pour que je les croie susceptibles de soutenir la discussion.

En revoyant deux fois cette année le passage du Saint-Gothard, imbu des difficultés de la tâche que je m'étais donnée, je me suis décidé, avec confiance, à écrire les considérations qui suivent sur l'ensemble des passages des Alpes.

En toute question spéciale, c'est un devoir de faire connaître les limites de sa compétence : c'est l'objet des observations qui précèdent.

J'ai voulu exposer dans les lignes qui suivent, les motifs

qui recommandent à l'attention les questions relatives aux passages des Alpes par un chemin de fer, et qui donnent même un caractère d'urgence à leur solution.

En offrant une solution qui me paraît efficace, je n'ai pas la pensée qu'elle pourrait être acceptée sans passer préalablement par tous les degrés, par toutes les épreuves qui donnent à une idée utile sa force et sa vitalité : la discussion d'abord, et, si elle en sort confirmée théoriquement, l'essai préalable.

Sans ces gages, il ne peut être fait d'appel aux millions pour appliquer la disposition que je propose à cette grande entreprise du passage des Alpes. Les millions ne doivent pas être les pionniers de l'art : c'est l'art qui doit être le pionnier des millions.

PASSAGES DES ALPES.

Les passages sur lesquels l'attention publique s'est portée jusqu'à présent, sont :

1° *Pour la France et le Piémont :*

La route de Toulon à Gênes, par le littoral de la Méditerranée ;

Le Mont-Cenis, préféré au Mont-Genèvre.

2° *Pour le Piémont seul :*

Le petit Saint-Bernard.

3° *Pour la Suisse et le Piémont :*

Le Grand Saint-Bernard ;

Le Simplon ;

Le Grimsel, { par l'Albrun;
par le Simplon;

Le Saint-Gothard;

Le Lucmanier;

Le Bernardino;

Le Splugen.

A tous ces passages s'attachent des considérations politiques, commerciales, techniques et financières.

§ 1.

Considérations politiques et commerciales.

La neutralité suisse enlève, pour la France et le Piémont, aux passages situés sur le territoire de la Confédération, toute valeur politique, au point de vue de la défense du pays et de ses moyens d'action militaire.

On peut, peut-être, considérer la neutralité comme vaine tant que la Confédération Suisse ne sera pas assez puissante pour défendre son territoire ou constituer prisonnière, au profit de celle des parties belligérantes dont les armes triompheraient, les armées qui, traversant son territoire ou s'y réfugiant à l'abri de l'ennemi, violeraient la neutralité ou s'avoueraient vaincues.

Tant qu'il n'en sera pas ainsi, le respect de la neutralité s'éteindra devant les nécessités, plus fortes que le droit public, de la défense du pays.

Mais, à une époque où les grands intérêts de la paix donnent au droit public Européen une puissance de plus en plus forte, il faut respecter la neutralité, dût la Confédération lui laisser le caractère d'impuissance qui en pourrait, le cas échéant, atténuer ou annuler l'effet.

La France et le Piémont ne peuvent donc donner aux passages Suisses un concours quelconque dans l'intérêt de leur alliance ou de leur défense.

Reste le point de vue pacifique, c'est-à-dire l'intérêt, pour la France et l'Italie, d'échanger leurs produits par les passages Suisses qui présenteraient des avantages spéciaux en économie, régularité et rapidité. Les considérations qui se rattachent à ces intérêts sont de l'ordre commercial.

Il n'en est pas de même des passages qui relient directement la France et le Piémont, c'est-à-dire la route de Toulon à Gênes, par le littoral de la Méditerranée et le col du Mont-Cenis.

L'état de ces deux passages a failli récemment causer la ruine du Piémont, et l'annexion de la Lombardie à ce royaume ne suffit pas pour le préserver du même danger. La puissance de l'Autriche, les avantages de sa situation en Vénétie et sur l'Adriatique, doivent avoir pour contre-poids, en faveur de la France, des passages sur le Piémont, aussi faciles, aussi rapides que les chemins de fer peuvent les donner.

L'Autriche a, sous ce rapport, une grande avance sur la France. Si le génie de son gouvernement et de son peuple avait la même initiative que ceux de l'Angleterre ou de la France, l'Autriche prendrait la première influence dans les intérêts industriels et commerciaux en Italie.

Autant la nature a heureusement traité l'Autriche par rapport aux moyens d'accès sur l'Italie par les chemins de fer, autant elle oppose de difficultés aux communications avec la France.

Ces difficultés sont d'un ordre et d'une importance techniques tels, que l'intérêt commercial ne pouvait ni risquer, ni supporter la dépense de leur solution : c'était aux gouvernements seuls à étudier les meilleurs moyens de les résoudre.

Là encore était une cause d'infériorité de la France et du Piémont sur l'Autriche.

Les tracés autrichiens ont une valeur commerciale, c'est-à-dire une relation entre le trafic et la dépense d'établissement beaucoup plus avantageuse que n'ont et surtout que n'avait la ligne du Mont-Cenis à l'époque où les gouvernements ont adopté une solution technique pour surmonter les difficultés de ce passage.

Il a donc manqué à cette étude le concours libre, l'indépendance et l'imagination de l'intérêt privé; il lui a manqué le stimulant qui tend à abréger la durée de la construction, durée qui est toujours l'épreuve lourde et scabreuse pour les intéressés, que ce soient les états ou l'association privée qui la subissent.

L'intérêt politique prédominant tous les autres, les études ont pris le caractère gouvernemental, c'est-à-dire que des commissions officielles ont du interrroger l'art et en appliquer les conditions qu'il offrait alors. C'est ce qui a été fait. La valeur classique de la solution du problème a semblé incontestable; elle avait, à la vérité, tous les défauts des travaux des commissions : l'absence d'initiative et d'imagination : le manque de fermeté dans les décisions, dans l'appréciation des obstacles; mais elle en avait aussi la valeur courante habituelle, à savoir l'esprit d'analyse, de prudence et de bon sens, qui recommande au public les travaux de ce genre, quand ils sont confiés à de bons esprits (1).

En résultat, une solution a été proposée et engagée. Elle est cependant mauvaise et elle le devient de plus en plus à mesure que le temps presse. Cette solution a sacrifié le temps, et c'est le temps qui la tue, parce que l'art accomplit des progrès qui doivent donner à d'autres directions le pas sur celle-ci. Sans aucun doute, il est encore temps d'abandonner ces travaux et d'essayer un autre système : c'est par là peut-être que la discussion est opportune.

(1) L'intéressant rapport de cette commission a été publié dans les *Annales des Conducteurs des ponts et chaussées* et dans la *Revue universelle*.

La discussion est également opportune et *à priori*, en ce qui concerne le passage par le littoral Méditerranéen dont le mérite militaire est incontestable, puisque le tracé serait, sur toute son étendue, en relation avec la mer et les flottes, et puiserait là des éléments de force réciproques.

Les considérations commerciales donnent aux passages des Alpes un ordre d'importance différent.

L'Allemagne, la France, la Suisse, l'Italie et le Piémont, ont intérêt à ouvrir les communications les plus faciles et les plus régulières pour l'échange de leurs produits.

L'introduction dans la Lombardie du régime de douane Piémontais ouvrira, pour la Suisse, le Zollverein et la France, des sources de trafic d'autant plus importantes que la nature des produits et des consommations est basée dans ces diverses contrées sur un sol, sur des cultures et sur un climat différents. Il en est de même, bien qu'avec moins de simplicité dans les faits, des sources de relations industrielles.

Il serait trop long d'entrer dans des détails sur le rôle que la culture et l'industrie prendront dans les relations commerciales de l'Italie avec les pays du Nord : toujours est-il qu'une certaine richesse en capitaux existe dans les villes, par d'anciennes fortunes de banque, ou par la possession de grands biens territoriaux : que la terre y est, en outre, plus riche qu'ailleurs, et qu'une nouvelle ère d'activité doit s'ouvrir à la suite d'un régime de gouvernement et d'une indépendance nationale qui rendent le calme, l'espoir et la liberté d'initiative aux populations et aux individus.

L'ordre d'utilité des différents passages des Alpes n'est pas douteux pour la France. Sa politique doit prononcer, surtout quand son intérêt commercial n'est pas en désaccord avec elle.

On peut donc mettre en dehors de toute discussion les deux

passages du Mont-Cenis et du littoral méditerranéen. Il faut qu'ils soient ouverts. Les gouvernements sont à la tâche ; c'est leur affaire. C'est le bonheur, et le malheur peut-être, des intérêts qui s'y rattachent : car, si l'exécution est certaine, le terme en est complètement incertain, au moins en ce qui concerne le Mont-Cenis, par suite du système de travaux que nécessite la solution echnique à laquelle on a donné la préférence.

Mais ces deux passages ne pourraient suffire aux intérêts commerciaux français si d'autres directions plus courtes, plus économiques, plus faciles, devaient un jour accaparer la plus grande partie de la circulation des hommes et des marchandises entre l'Italie et les contrées situées au nord de son territoire.

Ce sont les passages Suisses, et c'est entre eux qu'il faut choisir.

A égalité dans la valeur technique, c'est-à-dire dans les conditions mécaniques et physiques de l'exploitation, quel est entre tous le meilleur? c'est-à-dire celui qui concentre la plus grande masse d'intérêts pouvant coopérer à son établissement et enrichir son exploitation par la plus grande activité commerciale?

La situation faite à la France par les lignes qui se dirigent sur es Alpes Suisses est simple.

Quatre tracés, peut-être cinq, traversent ou traverseront le Jura pour entrer sur le territoire suisse ; l'un par Bâle, l'autre par Genève, les autres entre ces deux points.

Ces tracés, pénétrant dans la grande et riche vallée qui sépare le Jura des Alpes Suisses, atteindront plus ou moins directement les passages du Simplon, de l'Albrun et du Saint-Gothard. Ils atteindraient également, mais par de longs détours, les passages du Lucmanier, du Bernardino, du Splugen et autres vers l'Est.

L'intérêt de la France se prononce donc assez nettement pour les trois ou pour l'un des trois premiers passages que nous venons de nommer.

Trois réseaux, ceux de l'Est, de Lyon et d'Orléans sont intéressés aux passages des Alpes.

Le premier atteint la Suisse plus rapidement que les deux autres; il arrive à Bâle plus vite que le chemin de Lyon n'arrive à Genève et qu'il n'arrivera entre Genève et Neuchâtel. Néanmoins les passages Suisses pourront être exploités concurremment par les deux lignes de Lyon et de l'Est.

Les passages franco-piémontais appartiennent au contraire exclusivement au réseau de Lyon ; de là, pour la Compagnie de l'Est, un grand intérêt à la prompte exécution des passages Suisses.

Il en est autrement de l'Allemagne. Son intérêt est moins défini que celui de la France, c'est-à-dire moins limité dans le choix des tracés. Elle les atteint tous dans des conditions géographiques à peu près identiques, par les chemins de fer du duché de Bade et par ceux du Wurtemberg et de la Bavière, à l'est et à l'ouest du lac de Constance.

Il semblerait que, dans de pareilles circonstances, le choix ne devrait pas être douteux ; car c'est par la concentration seule des intérêts qu'on peut espérer obtenir les ressources financières qu'exigera, dans tous les cas, l'exécution d'un pareil projet.

En ce moment, la fusion de l'intérêt Allemand et de l'intérêt Français, en faveur des passages Suisses qui conviennent seuls à la France, est sans inconvénient pratique pour l'Allemagne.

La plus grande difficulté ne serait peut-être pas d'amener l'entente entre les intérêts de ces deux grands pays.

C'est plutôt en Suisse que le défaut d'union et de fermeté tiendrait en échec les solutions les plus avantageuses.

La Confédération a déjà compromis la situation, en concédant, sans garanties, plusieurs des passages. Elle a créé des intérêts qu'elle ne peut plus loyalement combattre. Elle a agi comme si le passage d'un chemin de fer à travers les Alpes était une entreprise ordinaire. Elle a été populaire, mais imprudente.

C'est que la confédération ressemble à un faisceau de branches dont chacune prétend avoir autant de sève et produire autant de fruits que le tronc de l'arbre tout entier.

Si les vingt-deux cantons avaient, chacun dans son territoire, un col sur les Alpes, les vingt-deux cantons voudraient avoir chacun son chemin de fer franchissant la montagne.

La Confédération consentira-t-elle à s'attacher au tracé qui réunirait et concilierait le mieux les intérêts Français et Allemands, tout en donnant satisfaction à la plus grande partie du territoire Suisse? il est permis d'en douter.

Si la question suivait sa véritable signification, ce serait la densité des populations, leur activité, leur situation favorable sur les lignes du transit, qui la résoudrait : ce serait une œuvre de majorité, en un mot; et dans ce cas, nul doute qu'à tous les points de vue, les passages du mont Saint-Gothard et du Simplon réuniraient les suffrages, mais le premier surtout.

En résumé, les grands intérêts commerciaux, qui, pour la France, s'attachent au passage des chemins de fer par les Alpes Suisses, se concentrent sur deux d'entre eux : le Saint-Gothard et le Simplon.

La confédération Suisse est conduite à préférer ces deux passages à ceux qui sont plus à l'Est, par les intérêts qui se rattachent à leur situation géographique, c'est-à-dire à la densité des populations, et à l'activité, à la richesse industrielle, agricole et commerciale du territoire qui sera directement desservi par ces passages.

L'Allemagne (le Zollverein) peut être indifférente sur le choix entre ces passages et ceux qui sont situés plus à l'Est, et cette indifférence même doit être une raison de concentrer les efforts des deux pays sur le passage qui convient à l'ensemble des intérêts Suisses et Français.

Si ces appréciations sont fondées, il faudra déterminer l'or-

dre de priorité des deux passages, quant à leur utilité relative.

A ce point de vue, les intérêts Suisses, d'accord avec ceux de la compagnie de l'Est et du Zollverein, se prononceraient pour e Saint-Gothard : la Suisse, en se fondant sur la situation géographique de ce passage; le Zollverein et la compagnie de l'Est, en s'appuyant sur la concordance de leurs intérêts pour choisir le tracé le plus direct.

§ II.

Considérations techniques.

DESCRIPTION.

La hauteur des cols des différents passages est de 2,000 à 2,100 mètres au-dessus du niveau de la mer, et de 13 à 1600 mètres au-dessus du niveau de la plaine environnante.

Ils sont facilement accessibles jusqu'à 1,000 mètres au-dessus du niveau de la mer par des rampes de 25 à 30 millimètres.

A partir de cette hauteur, les passages entrent dans la région des cônes d'éboulement, des avalanches et des neiges permanentes en hiver. Leur profil ne les rend accessibles qu'au moyen de rampes disposées en lacets comme les routes actuelles, ou en cercle, et dont le tracé serait d'autant plus court que les rampes seraient plus fortes, c'est-à-dire que c'est seulement l'inclinaison des rampes qui déterminera la longueur du passage.

Si le faîte est traversé par un souterrain horizontal, la lŏngueur du tracé sera diminuée en raison de la double hauteur ainsi rachetée.

Sur tous les passages, les rampes d'un chemin de fer peuvent être établies à ciel ouvert jusqu'au faîte des cols.

Les obstacles à cette disposition sont : les cônes d'éboulement; les avalanches ; la neige permanente pendant six mois de l'année, et qui tombe fréquemment pendant la fin de l'automne, pendant l'hiver, et le commencement du printemps ; le froid, qui, sur les faîtes, descend jusqu'à 26 degrés au-dessous de zéro du thermomètre centigrade ; enfin les rampes à gravir et les courbes que le tracé doit affecter.

C'est, comme nous l'avons dit, à partir de 1,000 mètres au-dessus du niveau de la mer que se réunissent ces obstacles à la construction et surtout à l'exploitation d'un chemin de fer traversant les Alpes.

C'est pour les éviter en partie qu'a été adopté le système qu est en voie d'exécution au Mont-Cenis (1), et qui consiste à entrer en souterrain à la hauteur de 12 à 1,300 mètres pour traverser le faîte du col.

Ce système est également en projet d'après les études qui ont été faites pour franchir les autres passages. Les tracés entrent en souterrain à 1,500 mètres environ au-dessus du niveau de la mer, et la longueur des souterrains de faîte est la seule différence qu'ils présentent entre eux.

Cette longueur varie entre 10,000 et 17,000 mètres. Elle dépasse donc tout ce qui a été fait dans ce genre. Elle est, à elle seule, la grande difficulté, pour ne pas dire l'obstacle éventuellement insurmontable au succès du système.

Ce n'est pas à dire pour cela que tout ce qui a été prévu des moyens d'exécution échouera. Le succès est au contraire présu-

(1) Le souterrain du Mont-Cenis aura 12,700 mètres de longueur ; il est projeté en rampes opposées de 20 et 23 millimètres. Il sort au jour, du côté de la France, à 1,324 mètres, et, du côté de l'Italie, à 1,190 mètres au-dessus du niveau de la mer; il passe à 1,335 mètres sous le sommet du col. Les rampes d'accès sont de 35 millimètres du côté de la France, et de 30 millimètres du côté de l'Italie. Les travaux de percement sont commencés suivant les méthodes habituelles, en attendant l'achèvement des appareils nécessaires à l'application de nouveaux procédés.

mable. La persévérance et l'ingéniosité de l'esprit humain, la science de l'ingénieur, l'intelligence et l'adresse de l'ouvrier, sont aux prises avec l'une des difficultés les plus ardues que l'art ait rencontrées, et ils en triompheront si les ressources financières ne manquent pas. Mais, pour ceux que de longs travaux ont familiarisés avec ces questions, il y a une limite d'avancement tracée par la dureté relative, si nous osons nous exprimer ainsi, de l'acier et de la pierre qu'il faut percer, broyer ou couper.

Un ingénieur expérimenté se trompera au plus de quelques centimètres sur l'avancement à obtenir dans un temps donné, soit par des machines, soit par le travail humain.

La transmission de la force motrice aux appareils à percer ou broyer la roche, l'aérage, l'assainissement après l'explosion de la poudre s'il en est fait usage, le transport des ouvriers, l'écoulement des eaux si on en rencontre, le maintien d'une température abaissée par l'usage de l'air comprimé comme moteur, relevée par la combustion de la poudre, l'éclairage, etc. : toutes ces difficultés seront vaincues sans aucun doute. Il s'élèvera là, avec le temps, l'un des plus beaux exemples de l'application de l'art de l'ingénieur, et l'accumulation des idées amènera à la fois la simplicité et la grandeur des moyens (1).

Mais c'est là tout. Le temps aura inexorablement sa part, et cette part peut se compter par dizaines d'années.

Le souterrain percé, il faut le parcourir, il faut adopter un moteur qui ne puisse vicier l'air, il faut en outre produire un aérage constant.

Ces difficultés sont, sans doute encore, de celles dont la science triomphera ; mais le temps est toujours là, réclamant sa part dans toutes les éventualités qui précéderont le succès.

Devant d'aussi gigantesques travaux, que la longue vie des

(1) Voir la note D, page 67.

nations peut seule justifier, mais qui dépassent peut-être la limite de ce qu'une génération doit à celle qui la suit, on se demande si les obstacles devant lesquels on a reculé ont été sainement appréciés.

S'ils l'ont été, il n'a pas été du moins fait appel à la publicité, à l'étude et à la discussion publiques, et les motifs des promoteurs du système ne sont pas connus. Le champ reste donc ouvert à la discussion.

Il ne faut pas oublier d'ailleurs que le système adopté pour le passage du Mont-Cenis se trouvera depuis la hauteur de 1,000 mètres environ au-dessus de la mer jusqu'à celle de l'entrée en souterrain, qui est à 1,324 mètres, dans la zône des cônes d'éboulement, des neiges fixes d'hiver, des avalanches, du froid intense, etc.; il sera exposé enfin à des obstacles de la nature de ceux qui attendent les essais de franchir le faîte à ciel ouvert.

Il n'y a encore d'exemple d'exploitation dans les hautes régions qu'au Semmering, dont le faîte n'est qu'à 698 mètres seulement au-dessus de la mer; et ce col n'étant dominé par aucune chaîne de montagnes, toutes les conditions climatériques y sont adoucies; les obstacles n'y sont aucunement de la nature de ceux que rencontrent tous les passages des Alpes depuis la hauteur de 1,000 mètres au-dessus de la mer jusqu'à leur entrée en souterrain à 14 ou 1,500 mètres.

Il résulte des études faites jusqu'à ce jour que, de 500 à 1,000 mètres, les chemins auront une longueur de 70 à 90 kilomètres.

A un niveau supérieur, ils auront 35 à 75 kilomètres. Les difficultés climatériques ne seront donc pas très-différentes dans les deux systèmes de passage en souterrain ou à ciel ouvert.

Il convient donc d'analyser les objections à un système qui consisterait :

A établir le chemin de fer dans la région des cônes d'éboule-

ment et des avalanches ; des neiges fixes pendant l'hiver, et tombant dans cette saison presque continuellement pendant des semaines entières ;

A le protéger contre les eaux torrentielles et les inondations ;

A lui faire franchir le sommet des cols à ciel ouvert, ou tout au plus par un souterrain de 2 à 3000 mètres ;

A l'exploiter dans une région où la température peut s'abaisser jusqu'à 25 et 30 degrés centigrades au-dessous de zéro ;

A adopter des rampes continues, dont l'inclinaison varierait entre 30 et 50 millimètres, et qui seraient combinées avec des courbes de 20 à 25 mètres de rayon.

Il est utile de faire observer que cette analyse s'attache à la fois aux deux systèmes de traversée des Alpes :

En partie à celui des grands percements, dans la distance de 1,000 mètres au-dessus de la mer jusqu'à la hauteur où on entre en souterrain ;

Et à l'autre, pour toute la hauteur qu'il franchit à ciel ouvert depuis 1,000 mètres jusqu'au faîte du col.

Cônes d'éboulement. — Les cônes d'éboulement sont des portions de cône dont la base repose dans la vallée et dont le sommet s'appuie sur l'escarpement de la montagne. Leur vue, en élévation, présente une génératrice formant un angle très-faible avec la verticale, ce qui indique que leur talus naturel est très-incliné.

Ils sont toujours situés à l'ouverture d'une petite vallée transversale à la principale, qui sert de chemin aux avalanches.

Ils sont composés de débris des roches supérieures, détachées par la double action du froid et de l'humidité. Au-dessous des neiges éternelles, la région montagneuse est alternativement séchée par les rayons du soleil et humectée par les pluies, la neige et les nuages. L'eau qui s'introduit dans les interstices des roches

se dilate par la congélation lorsque le froid arrive, et, si la résistance qu'oppose le fragment isolé de plusieurs côtés de la roche principale est inférieure à la pression produite par la dilatation de l'eau, le fragment est complètement détaché. Il ne tombe pas pour cela : la neige le recouvre habituellement à l'époque où ce phénomène se produit; mais, à la fonte des neiges, le fragment est entraîné par l'avalanche, qui, à force de siècles, a ainsi formé, par l'entassement des débris, des cônes d'éboulement dont la base a quelquefois trois à quatre cents mètres de largeur et une hauteur égale.

C'est surtout dans les formations schisteuses que les cônes d'éboulement ont le plus grand volume. Ils ont en outre un mauvais caractère, en ce sens que, composés de plaquettes, ils offrent entre les fragments des plans de glissement qui rendent leurs mouvements faciles, soudains et dangereux.

Il semble à peu près impossible d'ouvrir une tranchée pour un chemin de fer sur le versant d'un cône d'éboulement sans entraîner toute la partie supérieure; on n'osera pas davantage risquer un train sur un sol que la moindre trépidation peut faire disparaître instantanément.

Voilà l'objection dans toute sa gravité, voici les atténuations :

L'origine des cônes d'éboulement se perd dans les siècles des premiers âges. La plupart de ceux qui sont dans la région favorable à la végétation sont recouverts d'arbres, d'arbustes, d'herbes ou de plantes parasites.

Cette végétation est quelquefois fort riche et permet de supposer qu'une certaine abondance de terre végétale, mêlée aux fragments, favorise la raideur du talus et contribue, par les racines qui s'y développent, à le maintenir. Les racines d'herbes et d'arbustes doivent en effet avoir successivement recouvert les détritus, et elles ont dû être recouvertes par eux, de sorte que la masse entière en est probablement mélangée et la décomposition

successive de ces matières végétales donne à ce terrain artificiel une consistance qui explique la raideur de son inclinaison.

Les cônes d'éboulement ne sont donc pas tous également instables. Il s'en faut: il en est, et c'est la plupart, qui peuvent être considérés comme des remblais fixes, dont on n'a à craindre ni des mouvements par le pied, ni des glissements résultant de leur défaut de consistance et de la raideur des talus. Ceux-là, et c'est le plus grand nombre, peuvent même au besoin supporter de nouveaux remblais.

Les autres, les plus instables, ceux qui sont à peu près exclusivement composés de fragments schisteux, doivent être traités comme de véritables travaux d'art. Avant d'être chargés de remblais ou de supporter la voie ferrée, ils devront être sondés au pied et sur les flancs; ils devront être, en totalité ou partiellement, ramenés au talus naturel résultant de leur composition.

Mais lorsque le chemin de fer passera en tranchée dans les cônes d'éboulement, ce qui doit être évité autant que possible, il y aura lieu de les considérer tous comme offrant le même danger, celui du glissement de la partie supérieure dont le pied aura été coupé par la tranchée.

Que le cône soit alors traité par la méthode des terrassements, consistant à placer les terres supérieures ébouleuses dans des conditions de stabilité; soit que l'on préfère laisser au cône sa première position et protéger la tranchée par des travaux de maçonnerie, on réussira sans aucun doute à assurer la sécurité du passage, et il est bien peu de ces points qui nécessiteront des travaux d'art importants.

Les cônes d'éboulement n'arrêteront donc pas l'établissement du chemin de fer à quelque hauteur qu'il soit placé au-dessus du fond de la vallée.

Avalanches, neige. — Les avalanches sont l'obstacle capital, celui qui mérite la plus sérieuse attention. Un chemin de fer qui serait exposé à être couvert ou endommagé par elles n'offrirait aucune garantie de sécurité et de régularité.

Il y a plusieurs sortes d'avalanches, mais nous ne les distinguerons que par rapport aux dangers qu'elles offrent.

Les unes suivent habituellement, comme le feraient des torrents, les vallées transversales à la vallée principale ; leur cours est connu; leurs ravages dépendent de leur puissance vive, c'est à dire de la quantité de neige qui glisse et de la vitesse dont elle est animée ; ils dépendent aussi du volume et du nombre des fragments de roche et de glace qu'elles entraînent. L'époque du glissement des avalanches est habituellement le retour du printemps; mais le moment en est toujours imprévu, de là le danger.

L'avalanche fait pour ainsi dire son plan de glissement. Si elle rencontre dans sa marche une excavation, un escarpement, une route formant un plan horizontal, elle remplit ces intervalles, conserve ainsi son plan de glissement; et, si elle n'est pas arrêtée dans sa marche par le fond de la vallée ou un obstacle résultant de la configuration du sol, elle descend, laissant derrière elle la neige qu'elle a déposée dans les anfractuosités rencontrées sous son plan de glissement.

Cette propriété des avalanches est si connue, que l'ouvrage le plus léger, un simple toît en charpente établi sous un angle inférieur au plan de glissement suffit pour préserver les routes qui y sont exposées.

A cette espèce d'avalanches, sans contredit la plus redoutable, il faut ajouter celles qui descendent des flancs des montagnes, sans que leur cause naturelle s'explique par l'existence d'une vallée secondaire transversale à la vallée principale.

Les premières s'alimentent dans les trois plans, dont l'un est le flanc de la montagne à la naissance de la vallée secondaire, et

les deux autres ont pour intersection le fond de cette vallée. Aussi leur importance est-elle en raison de l'étendue des surfaces qui les nourrissent.

Les secondes descendent de surfaces plus limitées.

Voici maintenant comment les choses se passent : vers le milieu de l'automne, la neige tombe et couvre les routes dans la région où le niveau est de 1000 mètres au-dessus de la mer. Pendant le cours de l'hiver le traineau est substitué à la diligence; et, suivant que la neige tombe dans les parages bas ou élevés, cette substitution se fait à des points variables.

Dans les parties basses, le traineau est à deux banquettes portant chacune deux personnes; dans les parties hautes, le traineau est plus étroit et ne contient que deux personnes placées l'une vis-à-vis l'autre, sans compter, dans les deux cas, le conducteur.

A mesure que la neige tombe et encombre la route, les habitants des villages voisins travaillent à rétablir le passage en lui donnant la largeur suffisante pour un traîneau. C'est leur seul gagne-pain dans cette saison.

Sur le Saint-Gothard, ce travail coûte chaque hiver de 40 à 60,000 fr., c'est à dire du huitième au cinquième de ce que coûte le même travail sur le chemin de l'Est. L'opinion d'un ingénieur compétent du pays est que la dépense pourrait être fortement réduite par une meilleure organisation.

Il est vrai que le travail n'est pas semblable, en ce sens que sur les chemins de fer l'enlèvement de la neige doit découvrir la voie, tandis que dans la montagne on ne cherche pas à découvrir et à conserver le sol de la route; le chemin du trainage en est au contraire souvent séparé par un mètre ou deux d'épaisseur de neige durcie par le froid, par le pied des chevaux et le passage du traineau; ou bien ce chemin qnitte entièrement la route pour suivre le thalwey de la vallée, c'est-à-dire le chemin le plus direct.

Aussi le travail des ouvriers n'est-il requis que lorsque la route est encombrée et le passage compromis ou interrompu ; c'est le plus souvent par les avalanches.

La chute des avalanches ne serait pas, comme on le voit, le seul obstacle à l'établissement d'un chemin de fer, la neige en est un autre. Elle tend à couvrir continuellement le sol et à y prendre par l'effet du froid une grande densité ; elle pénètre en outre très-souvent, à l'état de poussière fine et légère et à l'égal pour ainsi dire de l'air, dans les endroits fermés, par tous les interstices, les fentes, les ouvertures les plus étroites.

En résumé, la neige produit trois natures d'obstacles :

Par les avalanches, elle couvre, encombre ou détruit la route; elle en ferait de même d'un chemin de fer exposé comme la route ;

Elle recouvre en tombant, soit continuellement, soit par intervalles, le sol de la route sur une hauteur quelquefois considérable et superpose ainsi un nouveau chemin sur l'ancien. Elle rendrait, dans ces conditions, la circulation sur le chemin de fer impossible, à moins de l'enlever à mesure que le sol en serait recouvert ;

Elle s'introduit sous les parties couvertes, même dans les parties closes des galeries, à l'état de poussière fine, et elle peut, dans cet état, affaiblir, annuler même l'adhérence des roues motrices des machines et arrêter la marche des trains.

La part à faire à ces trois graves obstacles n'est pas la même pour tous; chacun exige d'être évité par des moyens spéciaux.

Les avalanches se combattent par des galeries tantôt en maçonnerie, tantôt en bois, tantôt creusées dans la roche et dont la forme de construction est en raison de l'importance des avalanches dont le régime local est bien connu des ingénieurs, des ouvriers et des gens du pays.

Ce genre de travaux, si divers, souvent si ingénieux, toujours

si économiques, est trop connu pour que nous entrions dans des détails descriptifs; mais il n'est pas douteux que le chemin de fer ne doive être protégé à cet égard par des ouvrages beaucoup plus consistants, plus dispendieux par conséquent, et sur une étendue beaucoup plus considérable que la route actuelle. L'aspect des lieux permet d'apprécier sur le Saint-Gothard cette étendue de galeries défensives des avalanches au tiers ou au quart de la longueur totale des rampes d'accès entre Goschinen et Airolo.

Les ressources en matériaux qu'offre toujours à pied d'œuvre la localité diminueront sensiblement le coût de ces travaux.

La moyenne de dépense de construction du mètre courant de galerie de ce genre étant de 200 francs, en supposant le tiers du parcours ainsi couvert, on peut attribuer à cette nature de construction une dépense de 70,000 fr. par kilomètre.

Le second obstacle causé par la neige couvrant incessamment la voie pendant des semaines entières nous a semblé plus difficile à éviter.

Une première solution consiste à couvrir complètement le chemin par une toiture analogue à celle des maisons de récente construction dans ces localités.

Ces toitures sont composées de larges plaques de pierre schisteuse descendues des montagnes; elles sont soutenues sur des charpentes avec piliers en pierre; ce moyen entraînerait une dépense d'établissement d'environ 60,000 francs par kilomètre. Il n'y aurait plus, dans ce cas, à enlever que la neige portée par le vent sur la voie.

Il ne faudrait cependant recourir à cette solution qu'après avoir reconnu l'insuffisance de la suivante, qui semble devoir inspirer toute confiance.

L'usage des rateaux ou charrues à versoir (composées de tu-

bes creux dans lesquels circule la vapeur afin d'empêcher l'adhérence de la neige), formant avec le sol un angle aigu, et poussées par une machine, réussit toujours quand la neige est sèche, qu'elle n'est pas très-épaisse et qu'ainsi déplacée elle peut être rejetée ou déposée facilement sur les banquettes des voies ou en dehors de l'arête de l'accottement. Dans ces circonstances, qui sont les plus générales, ce procédé suffira. Dans bien des cas le travail humain sera un complément obligé pour empêcher les entassements sur les accottements.

Le nombre de jours où la neige tombe dans la saison d'hiver étant supposé de 120, et le nombre des voyages de charrue compté à huit par jour, chaque kilomètre de voie sera parcouru par an 960 fois et la dépense sera, au plus, de 1250 francs par an et par kilomètre. En ajoutant 300 francs pour le complément de travail humain, l'enlèvement de la neige pendant l'hiver coûtera 1550 francs par kilomètre.

L'affaiblissement ou l'annulation même de l'adhérence par l'interposition entre la roue et le rail de la neige tombant en poussière doit être incessamment évité ; non pas que ce phénomène se produise d'une manière continue ; loin de là, il est au contraire rare et de peu de durée ; mais parce que la régularité du service sera ici absolument obligatoire en tout temps et surtout dans la mauvaise saison.

L'appareil de Clegg et Samuda, appliqué sur le chemin de fer atmosphérique pour faire fondre en avant du piston la graisse qui rendait la soupape obturatrice, paraît devoir résoudre cette difficulté en convertissant en eau la faible épaisseur de neige qui se trouverait sur les rails.

Tant de procédés se présentent d'ailleurs pour lutter contre cette difficulté qu'il n'y a pas lieu de douter du succès.

Eaux torrentielles, inondations. — Les travaux nécessaires

pour protéger le chemin de fer contre les eaux torrentielles et les inondations seront d'une très-faible importance.

Les vallées d'accès des cols ont une pente très-variable; le chemin en tiendra donc rarement le fond.

Dans les hautes régions, le torrent s'est creusé un lit profond, dont il ne franchit pas les bords dans les plus grandes crues.

Quant aux torrents qui débouchent par les vallées transversales, ils sont de très-faible importance et n'exigeront, comme celui dont ils sont tributaires, que des ouvrages de dimensions courantes.

Froid. — L'abaissement de la température dans ces régions élevées, à 20 ou 30 degrés centigrades au-dessous de zéro, pourrait avoir les plus fâcheux effets par la congélation de l'eau d'alimentation des machines, de l'huile ou des matières lubréfiantes dans leurs organes mécaniques et dans les boites à graisse des essieux.

Il pourrait aussi incommoder sérieusement les voyageurs.

Cela nécessitera la construction d'un matériel spécial offrant des dispositions propres à tenir à une température convenable l'eau d'alimentation, le mécanisme de la machine, les fusées des essieux et même l'intérieur des voitures.

Ce sera d'ailleurs une des nécessités de l'exploitation des chemins Alpins, que l'emploi d'un matériel spécial pour les machines et pour les véhicules à voyageurs, soit qu'ils entrent en souterrain à 12 ou 1300 mètres au-dessus de la mer, soit qu'ils traversent les cols à ciel ouvert.

Rampes. — Reste l'obstacle des rampes et des courbes.

C'est sur ces deux points qu'il faut demander à l'art, non pas une solution ou des applications nouvelles, mais l'extension, avec des modifications profondes, des procédés connus.

Les forces mécaniques se transforment sur les chemins de fer en effort de traction au moyen de l'adhérence des roues motrices des machines sur les rails.

L'adhérence, que l'on peut définir *le frottement avec altération des matières en contact*, est couramment égale au sixième du poids que portent les roues motrices (1).

Les progrès de l'art ont jusqu'à présent utilisé le poids des machines :

1° Partiellement par un seul essieu moteur;

2° A plus des deux tiers de leur poids par l'emploi de deux essieux moteurs;

3° En totalité, par l'emploi de trois essieux moteurs.

Puis on a récemment utilisé une partie du poids du tender et de l'eau d'alimentation, en transmettant la force mécanique de la machine à un ou à deux essieux du tender.

On n'a pas encore été au-delà; on n'a pas utilisé, pour la traction, l'adhérence des roues des véhicules à voyageurs et à marchandises, par le motif qu'à part les difficultés de cette application, on n'en a pas eu besoin pour franchir des rampes de 30 à 35 millimètres avec des trains de 80 à 95 tonnes, déduction faite du poids de la machine et du tender.

Si l'adhérence était la même, quelle que fût l'inclinaison d'une rampe, *ce qui n'est pas*, un générateur de vapeur qui pourrait transmettre à toutes les roues d'un train assez de puissance mécanique pour utiliser l'adhérence au sixième du poids supporté par elles ferait gravir à ce train une rampe de 158 millimètres par mètre, en comptant en outre 8 kilog. par tonne pour les résistances autres que celles résultant de l'inclinaison de la rampe.

La réduction de l'adhérence, qui est certainement proportionnelle à l'inclinaison, modifierait sans aucun doute ce résultat;

(1) Voir la note C, page 62.

mais comme cette réduction n'est pas sensible ou du moins est si peu sensible sur les rampes de 40 à 50 millimètres qu'elle n'a pu être établie par l'expérience, l'exposé qui sert ici de base à l'utilisation de la puissance mécanique est suffisamment exact.

Que l'on suppose donc un train composé de véhicules supportés par des chassis à quatre roues, dits américains, comme l'est le matériel suisse ; que les essieux de chacun de ces chariots soient reliés par des manivelles et des bielles à des cylindres auxquels la vapeur, provenant d'un générateur placé à une extrémité du train, sera distribuée par un conduit ; que l'on suppose encore que la dimension de ces cylindres soit telle que la puissance mécanique transmise à chaque roue soit égale à l'adhérence, c'est-à-dire qu'elle constitue un effort de traction égal au sixième du poids porté par chaque roue. Dans ces conditions, *il n'y aura d'autre limite au poids du train que la quantité de vapeur produite par le générateur.*

La limite actuelle de la puissance mécanique ou plutôt de l'effort de traction est tout autre : *c'est l'adhérence de la machine,* condition mauvaise au point de vue des rampes, puisqu'elle réduit le poids des trains dans une énorme proportion à mesure de l'augmentation d'inclinaison.

Loin de nous la pensée de présenter ces observations comme une critique du mode actuel d'utilisation de l'adhérence. Si chaque wagon portait avec lui l'attirail mécanique d'une locomotive, sans le générateur, le coût du matériel serait triple de ce qu'il est aujourd'hui. Mais, à d'autres conditions d'exploitation il faut d'autres méthodes. Puisque le poids des trains peut servir à l'adhérence pour gravir les fortes rampes, il faut l'employer là où la nécessité se présente. C'est la seule ressource pratique. C'est la seule dont l'emploi soit rationnel. C'est la seule voie du progrès.

Elle a même le bonheur de ne pas être nouvelle. Les ingé-

nieurs, mis aux prises avec les difficultés d'un tracé de montagnes, y sont naturellement conduits. Voici ce qu'écrivait M. Koller, en 1853, comme conclusion d'une étude sur l'emploi de divers moteurs fixes ou locomobiles pour l'exploitation des fortes rampes.

« Toutes les fois que des rampes de cette nature pourront être établies pour surmonter les difficultés locales sans entrainer des frais de construction disproportionnés, et partout où l'exploitation pourra se faire au moyen de machines ordinaires, sans diviser les convois et par conséquent sans augmenter leur nombre, le système des locomotives sera préféré comme le plus simple et comme présentant les avantages les plus décisifs ; et *il écartera peu à peu tous les autres systèmes, si l'on parvient à communiquer la force motrice depuis la machine à chaque wagon, et à porter ainsi l'adhérence à son maximum, sans augmenter le poids utile du convoi.*

« Il nous paraît qu'au point où est arrivé l'art de construire les machines, la *solution de ce problème capital pour l'exploitation des chemins de fer* ne peut se faire attendre bien longtemps. Cette transmission ne pourra toutefois s'effectuer avec avantage par des corps rigides, comme les bielles, qui exigeront toujours une perfection impossible à atteindre dans l'exécution et à conserver dans l'entretien du matériel, *mais par des corps très-élastiques, le mieux par la vapeur elle-même.* »

L'une des objections à ce système est dans la nécessité de construire un matériel spécial. Nous avons fait observer que cette objection s'applique à tous les systèmes de traversée des Alpes.

La hauteur des cols au-dessus de la mer est de 2,000 à 2,100 mètres. La plaine, qui est à leur pied, est à la hauteur de 450 à 500 mètres.

La région des neiges fixes pendant l'hiver, des avalanches, du grand froid, des fortes inclinaisons, commence à 1,000 mètres

mais, de la plaine à cette hauteur, on peut monter directement, à cause de la longueur et de la configuration des vallées, par des rampes de 25 à 35 millimètres.

Avec une rampe moyenne de 25 $^{m}/_{m}$, 20 kilom. suffisent pour gravir les 500 mètres dont il s'agit. Or, les vallées d'accès présentent au moins cette étendue en parcours direct.

Il n'en est pas de même des 1,000 mètres qui restent à franchir.

Des rampes de 25 millimètres exigeraient, pour arriver au faîte du col, un parcours de . . . . 40 kilomètres.

à 30 millimètres.	33
à 35 id.	28
à 40 id.	25
à 45 id.	22
à 50 id.	20

Les versants du col sont loin de présenter de pareils développements, il faut donc monter en lacets ou en cercles.

L'idée de monter en cercles m'a été communiquée par M. Petiet. Dans son opinion, qui ne s'écartait pas probablement du système actuel de locomotion, puisqu'il supposait des rampes de 25 à 35 m/m, et l'usage du matériel actuel, les cercles ayant 300 à 500 mètres de diamètre, auraient été établis, soit au jour, en se développant sur les vallées latérales, soit souterrainement dans les deux flancs de la montagne, en sortant au jour tangentiellement à l'axe du cercle et en s'élevant par une série de spires dont l'axe aurait été incliné comme les versans même du col jusqu'au point où le souterrain du faîte aurait pu être réduit à une longueur raisonnable.

Cette idée est infiniment plus pratique que la solution par un grand souterrain adoptée pour le Mont-Cenis et pour les autres projets de passage. Elle substitue à un seul souterrain de 18 kilomètres quelques souterrains de 1,000 à 1,500 mètres au maxi-

mum, qui pourraient tous être attaqués en même temps, puisque tous viendraient au jour. Mais elle a l'inconvénient d'être bien dispendieuse, et de rendre la circulation des trains souterraine pendant trop longtemps.

Il y a, il faut en convenir, une répulsion instinctive, une espèce d'horreur dans le public pour ces longs voyages souterrains, et ce sentiment doit être consulté. Il faut lui faire sa part. L'art ne doit pas imposer de pareilles solutions s'il est possible de s'y soustraire.

Il faut rester au jour le plus possible; il faut, dans l'intérêt du plus court trajet, porter au maximum pratique l'inclinaison des rampes.

Il semble qu'il n'y aurait pas lieu de reculer devant une inclinaison de 50 millimètres (1).

Cette inclinaison exigera un effort de traction par tonne de 58 kilogrammes, et, dans les plus mauvaises conditions, de 64 kilogrammes. Les véhicules à voyageurs étant portés sur huit

(1) La possibilité de gravir des inclinaisons considérables en zigzag, à l'aide de machines spéciales, a conduit les Américains, comme nous l'avons vu, à faire des chemins de fer économiques par dessus des montagnes élevées; si ces chemins n'ont pas été considérés comme définitifs, ils ont eu pour but d'établir des communications immédiates dans des circonstances où le manque de capitaux et de temps les aurait fait ajourner.

Pourquoi des moyens analogues ne seraient-ils pas employés pour le passage des Alpes, qui interrompent d'une façon si incommode le réseau Européen?

On a souvent proposé de traverser trois de ces passages par des chemins de fer; l'un d'eux est commencé, et déjà des doutes sérieux s'élèvent sur la possibilité de le mener à bonne fin. Des dépenses considérables ont été faites pour les études des trois différents tracés; chacun d'eux comprend au moins un tunnel présentant une longueur et des difficultés exceptionnelles; mais il existe déjà des routes sur ces passages : leurs inclinaisons n'excèdent pas celles du chemin de fer qui traverse les montagnes d'Alleghany. Pourquoi ne pas transformer les routes du Mont-Cenis et du Simplon en chemins de fer de cette espèce. Le projet que l'on réaliserait ainsi aurait une grande importance Européenne, et l'entreprise serait à coup sûr lucrative pour le gouvernement ou la compagnie qui la prendrait à sa charge. (Conybeare, *Discours prononcé à l'Ecole d'application du génie militaire à Chatham.*)

roues pèseront, y compris les chassis américains, 16 tonnes environ à vide et 19 à 20 tonnes chargés. Les véhicules à marchandises pèseront chargés 30 à 32 tonnes. Ce sera donc par roue un poids de 2 à 4 tonnes, et un effort de traction à communiquer à la jante de chacune de 116 à 232 kilog. Or, l'adhérence étant, dans ce cas, de 333 à 666 kilog., *la force motrice nécessaire ne dépassera pas la moitié de l'adhérence disponible.*

Une rampe de 50 m/m exigeant, pour la mise en mouvement, 58 kilog. par tonne d'effort tangentiel à la jante de la roue, il en résulte que l'effort tangentiel ne sera que le dix-septième du poids servant à l'adhérence, au lieu d'être le sixième.

Le poids porté par les roues étant faible, l'usure des bandages et la détérioration des rails seront très réduites.

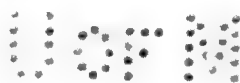
On voit ici que la conséquence de l'application de la puissance mécanique aux roues des véhicules est que l'adhérence pourrait n'être utilisée qu'au dix-septième du poids; d'où il résulte que l'on pourrait faire les véhicules beaucoup plus légers ou beaucoup plus lourds, si cela entrait dans les convenances de l'exploitation.

Le mérite du procédé étant d'utiliser toute l'adhérence du train, il y aura intérêt à déterminer l'emploi de vapeur pour chaque essieu d'après le sixième ou le huitième de la pression des roues sur les rails. Les dimensions des cylindres seront très-faibles si les caisses des véhicules sont égales en poids à celles actuellement employées en Suisse.

Les chassis à quatre roues très-rapprochées constitueraient ainsi de petits appareils mécaniques ayant, de la machine locomotive, le mécanisme de transmission de force sans le générateur de vapeur (1).

(1) Les dispositions qu'exigerait ce système dans l'agencement des appareils seraient :

De donner au conduit de vapeur qui se prolongera sous le train la flexi-



La machine locomotive ordinaire à trois essieux moteurs, qui pèse trente tonnes, dans lesquelles le générateur entre pour onze seulement, et qui n'offre que 125 à 135 mètres carrés de surface de chauffe, serait remplacée par un appareil dans lequel le générateur absorberait la plus grande partie du poids et offrirait ainsi facilement plus de 300 mètres de surface de chauffe; il ne serait donné en mécanisme de transmission à cet appareil que ce qui serait utile pour mettre en mouvement son poids de 30 tonnes. L'effort aux jantes de ses roues serait limité à 2,100 kilog. sur les rampes de 50 m/m. Les chassis à quatre roues, portant cet appareil, seraient de même construction que ceux des autres véhicules de ce matériel.

La relation entre la surface de chauffe et le travail produit par les machines locomotives n'est point déterminée. Il est constant que l'échappement de la vapeur par la cheminée a donné aux générateurs tubulaires une puissance et une élasticité dans la production de la vapeur qui ont dépassé toutes les prévisions, et l'on peut admettre que des générateurs offrant, des dimensions de surface de chauffe aussi considérables que 300 mètres, fonction-

bilité nécessaire, tout en lui conservant la rigidité essentielle à la sécurité des voyageurs;

D'éviter les pertes de température et de pression résultant de la longueur de ce conduit, en empêchant l'émission de la chaleur par l'enveloppe;

D'obtenir les mêmes résultats pour le conduit d'échappement de vapeur;

D'empêcher pendant l'été toute gêne et incommodité résultant pour les voyageurs de la chaleur provenant des appareils et des conduits;

De donner aux appareils de changement de marche une disposition qui en rende la manœuvre facile par le mécanicien;

De conserver la facilité de tourner les wagons sur les plaques tournantes, dans les conditions du matériel suisse.

De régler les dimensions des véhicules de façon que le nombre des voyageurs et le poids des marchandises qu'ils pourraient contenir soient dans le même rapport avec le poids de ces véhicules qu'ils le sont dans le matériel actuel.

Nous avons dû rechercher la solution de ces difficultés. Elles ne sont pas insurmontables, mais comme elles sont d'un ordre secondaire, ce n'est pas encore l'occasion d'entrer dans des détails à cet égard. (Note E, page 78.)

neraient dans les conditions les plus favorables, comme puissance de production de vapeur et économie de combustible.

Les ingénieurs font généralement correspondre la dimension des cylindres des machines locomotives à un effort de traction égal à l'adhérence totale de la machine comptée du quart au tiers de la pression des roues sur les rails.

En effet, on voit habituellement qu'au démarrage, le mécanicien est obligé de manœuvrer le régulateur avec attention, pour ne pas faire glisser les roues sur les rails. A ce moment d'ailleurs, l'effort de traction est bien supérieur à celui qui est exercé en marche; il dépasse souvent, sans patinage, le cinquième du poids porté par les roues motrices.

Dans ces limites, compté à 6,000 kilogr., l'effort de traction dont une machine de 30 tonnes est susceptible, correspondrait à un poids de train de 100 tonnes sur une rampe de 50 millimètres.

La surface de chauffe n'a aucune influence sur l'effort au démarrage. Il suffit de grandes dimensions de cylindres et de petites roues, pour produire à cet égard, momentanément, un effort considérable. La surface de chauffe n'intervient que pour augmenter la durée de cet effort. Mais l'adhérence en est la mesure et par conséquent la limite. La puissance motrice, au lieu d'être concentrée sur six roues, s'appliquerait ici à 32 ou 40 roues; elle sera donc dans des conditions d'utilisation bien supérieures. Ce qui manquera aux unes, par une diminution éventuelle d'adhérence, sera reporté sur les autres, de telle sorte que cette puissance ne pourra s'annuler à la fois entièrement pour tout un train, comme cela a lieu par le patinage de la machine.

Les avantages qui résultent du procédé consistant à utiliser l'adhérence du train au lieu de celle de la machine deviendront palpables au moyen de quelques comparaisons.

Le générateur des locomotives peut produire, avec même surface

de chauffe, suivant que le tirage est plus ou moins considérable, une quantité très-différente de vapeur. Le générateur de 100 mètres carrés de surface de chauffe d'une machine à marchandises, brûlant 10 kilog. de coke et vaporisant 90 kilog. d'eau par kilomètre, consommera, en marchant à 24 kilomètres à l'heure, 240 kilog. de coke et vaporisera 2,160 litres d'eau.

Ce même générateur, servant à une machine *express* brûlant 8 kilog. et vaporisant 72 kilog. d'eau par kilomètre, pourra consommer, à la vitesse de 60 kilom. dans une heure, 480 kilog. de coke et vaporisera 4,320 litres d'eau. Ces chiffres ne sont pas absolus, mais, en fait, ils sont incontestables.

Ce même générateur, muni de cylindres dont la dimension produit en général un effort supérieur à l'adhérence de la machine, en fera patiner les roues à la volonté du mécanicien, non-seulement au démarrage, mais en marche, lorsque l'adhérence sera un peu diminuée par suite des conditions de l'atmosphère ; ce générateur fournirait sans contredit momentanément un effort de traction presque double de l'adhérence de la machine.

Comment seront utilisées ces facultés de production de vapeur sur une rampe de 50 millimètres par mètre, dans les deux systèmes ?

L'adhérence de la machine étant, dans les conditions actuelles, la limite de l'utilisation de la puissance motrice, le générateur de 100 mètres de surface de chauffe d'une machine à marchandises de 30 tonnes correspondra à un effort de traction de 5,000 kilog. Cet effort étant par tonne, sur une rampe de 50 millimètres, de 58 kilog., ce sera donc un poids de 86 tonnes que cette machine pourra remorquer.

Le train sera, en conséquence, composé comme suit :

Machine	30 tonnes.
Tender	15
Véhicules.	13
Marchandises	28
Poids total du train. . . .	86 tonnes.

Ce calcul est confirmé par le fait suivant dont l'existence s'est maintenue pendant plusieurs années. L'*Antée*, machine de 27 tonnes construite par nous dans le but exprès de franchir la rampe de 35 m/m de Saint-Germain, avec des trains de 700 voyageurs, a 80 mètres de surface de chauffe, et remorque outre son poids et celui de son tender, sur cette rampe, 84 tonnes.

C'est donc : Machine . . .	27 tonnes.
Tender. . . .	12
Train	84
Poids total du train. . . .	123 tonnes.

L'effort de traction peut être calculé ainsi :

123	×	35 kil.	Rampe.	4,300 kilog.
123	×	4,21	Traction	518
27	×	5	Supplément pour la machine.. . .	135
12	×	2	d° pour le tender.. . . .	24
123	×	2	Courbes, air, rigidité du train, etc.	246
			Effort total. . . .	5,223 kilog.

Soit 42 kilog. 6 par tonne (1).

Pour la rampe de 50 m/m, il eût fallu ajouter 15 kilog. par

(1) Nous citons le travail de l'*Antée*, parce que cette machine est connue de la plupart des ingénieurs qui se sont occupés du travail effectué sur les rampes par les machines locomotives ; mais les faits consignés dans la note B sur l'exploitation du chemin américain qui traverse les montagnes Bleues, au moyen de rampes analogues à celles que nous proposons, sont d'un intérêt égal à consulter.

tonne, et le poids remorqué se fut affaibli en raison inverse : il eut été

$$\frac{5,223}{57.6} = 91$$ tonnes ainsi réparties :

Machine	27	tonnes.
Tender	12	
Véhicules	16	
Marchandises	36	
Poids total du train	91	tonnes.

La différence des deux résultats ne provient que de ce que la machine l'*Antée* n'ayant à franchir, en parcours total, qu'une distance de 2,500 mètres, avait une très-faible surface de chauffe, et était en outre très-légère. Aujourd'hui, le poids d'une machine de ce genre et de son tender est de 45 tonnes au lieu de 39. De plus, l'adhérence de l'*Antée*, qui n'était employée que pendant l'été à ce service, était du cinquième, tandis que dans le premier des deux exemples précédents, elle est supposée au sixième.

L'*Antée* n'aurait pas conservé sa marche sur une rampe plus longue ; il lui eût fallu 20 mètres de surface de chauffe de plus pour maintenir un effort continu.

Il faut donc partir de cette base, que 100 mètres de surface de chauffe eussent remorqué sur une rampe de 50 millimètres, 91 tonnes, et que 300 mètres de surface de chauffe suffiraient à en remorquer 273.

Un générateur de 122 mètres de surface de chauffe pèserait (1)	11,536 k.
Pour compléter 300 mètres, l'accroissement de 178 mètres carrés de tubes et l'enveloppe extérieure entraînerait un accroissement de poids de	5,340
Eau du tender et de la machine	6,000
Poids du mécanisme, roues, chassis, coke, etc.	12,124
Poids total sur huit roues	35,000

(1) Voir *le Guide du Mécanicien*, p. 519 à 524.

Le train serait donc composé de la manière suivante :

Générateur	35 tonnes.
Véhicules	89
Marchandises	149
Poids total du train. . . .	273 tonnes.

C'est donc 149 tonnes comparées à 28 et l'effet utile élevé de 1 à 5.

Ajoutons quelques éclaircissements utiles.

Dans le système actuel de machines locomotives, la mesure et la limite de l'effort de traction est de $\frac{1}{5}$ ou $\frac{1}{6}$ du poids porté par les roues motrices. La limite de cet effort fixé par l'état actuel de l'art de construire les machines est, au maximum, de 6,700 kil., ce qui correspond au $^1/_5$ de 33,5 tonnes : dans ce poids de 33,5 tonnes le générateur, de 150 mètres carrés, entre pour ·

foyer	3. ¹ 075
tubes	2. 565
chaudronnerie	6. 659
	12. 299
et le mécanisme pour	21. 201
	33. 500

On voit d'après cela qu'il y a dans ce système une double limite à la puissance du moteur.

1° En supposant que l'on ait à sa disposition une production de vapeur indéfinie, toute celle qui excèderait la quantité nécessaire pour un effort de traction de 6,700 kilog. serait dépensée en pure perte, parce qu'on ne fait pas de machines à six roues pesant plus de 33.5 tonnes.

2° Pour produire un effort de 6,700 kilogr. il faut donner au mécanisme un poids égal au $^2/_3$ du poids total nécessaire pour l'utilisation de cet effort de 6,700 kilogr.

Dans le nouveau système, l'appareil moteur n'a qu'à se traîner lui-même. Au lieu de correspondre à un effort de 6,700 kilog., le mécanisme ne doit supporter que, $\frac{33.5}{4}$, c'est-à-dire, sur niveau, 84 kilogr. Il prendra donc une part très petite du poids total de 33,5 tonnes; la différence restera pour le générateur.

L'excès de production de vapeur qui en résultera sera-t-il inutile comme dans le système actuel ? Non, car dans ce système on ne peut pas utiliser l'effort de traction au delà de 6,700 kilog., parce que c'est là toute l'adhérence que donnent les machines les plus pesantes, tandis que l'on peut employer dans le nouveau système le pouvoir adhérent de tous les wagons.

Avec la locomotive actuelle, lorsqu'on dispose d'un effort de traction de 6700 kilog. par le fait de l'adhérence, on a intérêt à construire le générateur de manière qu'il puisse utiliser toute cette adhérence; il en résulte que, si l'humidité des rails, les pentes, etc., viennent diminuer cette adhérence, les machines produisent une grande quantité de vapeur qui ne peut pas être utilisée, et cependant elles ne peuvent pas remorquer les charges accoutumées.

Dans le nouveau système on aura toujours un grand excès d'adhérence; de sorte que, quelle que soit, dans les limites du fait, la réduction de cette adhérence, il en restera toujours assez pour utiliser toute la force de traction développée par la vapeur.

Mais ce n'est pas encore là le seul bénéfice que l'on obtiendra. Nous avons vu que la limite de l'effort de traction est de 6,700 kilogr. Si les besoins du service nécessitent un train pour lequel la traction doive être de 7,000 kilog., il faut deux machines; il faut pour augmenter le générateur, traîner 21 tonnes de mécanisme, et engendrer sensiblement même quantité de vapeur que s'il était besoin d'un effort de traction double. Dans le système du générateur automobile on fera varier les dimensions du générateur. L'exploitation se fera dans les mêmes conditions que pour les ma-

chines fixes, où, lorsqu'on désire plus de force, on allume un plus grand nombre de chaudières. On pourra ainsi faire varier la puissance dans la même proportion que les charges à transporter, comme on procède dans une balance, où l'on équilibre les deux plateaux par faibles appoints successifs, au lieu de placer toujours d'un côté ou de l'autre des poids, qui s'entraînent alternativement.

En résumé, l'adoption de rampes de 50 m/m réduisant à 20 kilomètres, à ciel ouvert, sur chaque versant, le parcours du chemin de fer à partir de la hauteur de 1,000 mètres au-dessus de la mer et la durée du trajet à 2 heures et demie, est une des conditions les plus économiques de la solution du problème du passage des Alpes par un chemin de fer.

Elle offre un moyen certain de réduire les dépenses d'établissement qui, dans les autres systèmes, sont telles qu'il n'y a aucune solution financière prochaine à espérer.

Des rampes de 50 m/m peuvent être facilement, régulièrement et économiquement franchies en appliquant la puissance motrice à toutes les roues des véhicules composant les trains.

On utilise ainsi les forces mécaniques de la vapeur, c'est-à-dire la surface de chauffe des générateurs, au maximum de la production de vapeur, et on améliore le rapport du poids utile au poids total du train, dans des proportions impossibles à atteindre par l'autre système. On réalise en outre une forte économie dans l'exploitation en améliorant le produit des trains.

Cette application n'a rien de nouveau en théorie, elle n'a rien d'éventuel ou d'incertain ; elle rentre dans le cadre des dispositions que l'art possède pour faire face aux conditions du travail à développer pour gravir les fortes rampes.

Elle résout la question de temps, et fait disparaître, sous ce rapport, un obstacle que l'on peut considérer, dans le système adopté pour le Mont-Cenis, comme à peu près insurmontable pour la génération actuelle.

Courbes.—De la plaine à la hauteur de mille mètres, c'est-à-dire pour gagner cinq cents mètres environ de hauteur verticale, le profil du chemin ne suivra pas le fond ou le thalweg de la vallée. Non-seulement aucune des vallées d'accès des passages n'a une pente régulière, mais encore, la pente est habituellement très-variée. Le profil du chemin n'achètera pas non plus une régularité absolue aux dépens de sacrifices considérables pour se tenir par une rampe régulière sur les flancs des versants ou des escarpements des montagnes, mais il évitera les grandes variations dans les rampes.

Dans cette partie les lacets seront rarement nécessaires, mais ils peuvent être utiles pour éviter des difficultés locales qui ne pourraient être abordées autrement qu'au moyen de grands travaux d'art.

C'est l'occasion de dire que l'étude du terrain semble ici devoir porter plus de fruits que partout ailleurs pour simplifier les travaux. Il est regrettable de voir combien, sur quelques tracés, cette étude a été négligée, et l'indifférence, pour ne pas dire la satisfaction, avec laquelle les ingénieurs semblent avoir rencontré l'occasion de résoudre par de grands travaux les difficultés que la configuration du sol opposait, au premier coup-d'œil, au tracé d'un chemin.

On reconnait, dans le tracé des routes Suisses, une disposition toute différente : l'esprit d'économie a conduit les ingénieurs à étudier la configuration du sol avec un soin minutieux, et ils se sont montrés fort habiles à saisir, pour sortir d'embarras, tous les avantages que les accidents du sol leur offraient

Au-dessus de mille mètres, les versants des cols sont plus abruptes, leurs pentes plus variables; la nécessité d'une rampe continue et régulière est impérieuse, afin d'abréger la distance. L'usage des lacets sera indispensable.

Dans la construction des routes actuelles, les ingénieurs ont

donné aux courbes des tournants des lacets des rayons très-différents, suivant les facilités qu'offrait le terrain. Dans les plus mauvaises situations, le rayon est de quatre mètres.

Le système de construction du matériel dont nous avons indiqué les dispositions permettra l'emploi de courbes d'un rayon de vingt mètres, en ce sens que, par suite du très-faible écartement des essieux, et moyennant une vitesse faible et une surélévation convenable du rail extérieur, la résistance que ces courbes opposeront à la traction sera presque nulle, et que la stabilité des véhicules sur la voie sera la même, à égale vitesse, que celle que l'on a obtenue sur le chemin de Sceaux.

L'emploi de lacets à tournants de vingt mètres de rayon constituera dans la plupart des cas un véritable travail d'art, parce qu'il sera souvent nécessaire de placer le tournant en grande partie dans le flanc de la montagne, au moyen d'un fort déblai dans la roche; il faudra, en outre, le protéger contre les avalanches; mais il sera facile de donner aux lacets une assez grande longueur, et le nombre en sera par conséquent assez restreint. La longueur du thalweg, au Saint-Gothard particulièrement, étant, au-dessus de 1,000 mètres, de 26 kilomètres seulement, et la voie devant en avoir quarante si on adopte la rampe de 50 millimètres, il y aura 14 kilomètres à gagner par des courbes et des lacets. On peut donc en supposer au maximum vingt à vingt-cinq, car ce nombre peut-être réduit en profitant des vallées latérales pour développer le tracé.

Les tournants et les parties courbes ou droites seraient défendus par des garde-corps à claire-voie, mais en pierre et très-massifs, partout où le tracé serait à l'abri des avalanches, afin d'inspirer la sécurité la plus complète aux voyageurs.

Les travaux qu'exigeraient ces tournants des lacets seront des déblais dans la roche, des murs de soutènement et des galeries de défense contre les avalanches. Nous avons fait la part de ces

dernières. Les autres pourront coûter 60,000 fr. par tournant; et, si le nombre s'en élève pour les deux versants à trente-six, ce sera pour ce chapitre une dépense de 2,200,000 fr.

La disposition qui consiste à transmettre la puissance motrice à chaque chassis à quatre roues séparément a deux conséquences importantes sur l'effort de traction. La première, c'est d'éviter toutes les pertes de force résultant, dans les courbes, de la rigidité du train; ces forces ainsi perdues sont, dans tous les cas, fonction de la déviation de l'axe de l'effort même de traction. Il faut y ajouter l'effort exercé pour détruire le parallélogramme que forme la tension des attelages et le serrage des tampons de choc dans les trains composés avec les véhicules du matériel ordinaire, et qui sont attelés dans les gares où les voies sont droites.

Il faut y ajouter encore le frottement de glissement contre le rail qui s'opère sur les saillies des roues, frottement qui est d'autant plus considérable que l'écartement des essieux est plus grand.

Il est une troisième cause de perte de force, la plus grave de toutes, qui résulte de l'inégalité de marche des deux roues fixes sur l'essieu et placées en dedans et en dehors de la courbe. La forme conique des bandages se perdant rapidement par l'usure, elles deviennent de véritables cylindres; quelquefois même, par le fait de l'usure en gorge, la forme conique est renversée du dehors en dedans.

Forcées de développer un chemin égal, ces roues glissent. Le frottement de glissement fonctionne alors comme un frein, et l'intensité des résistances qui se produisent est variable suivant que les conditions climatériques influent plus ou moins sur la nature des frottements des roues sur le rail.

Cette cause de frottement disparait en rendant les roues indépendantes, ainsi que l'ont prouvé les dernières expériences qui ont eu lieu au chemin de fer de Sceaux.

Les roues peuvent être indépendantes soit en les rendant libres sur l'essieu, soit en les laissant fixes et en ne montant qu'une roue sur chaque essieu ; un chassis à quatre roues ayant ainsi quatre essieux.

La théorie justifie d'ailleurs les résultats que l'on doit attendre des disposisions proposées.

Considérons un chassis posé sur deux essieux très-rapprochés, comme le sont les chassis américains employés en Suisse, et portant des cylindres moteurs agissant directement sur des roues indépendantes : la saillie des jantes laissant à la voie un jeu de 25 à 30 millimètres, comme il est aujourd'hui, et le rail extérieur ayant l'élévation proportionnelle au déplacement du centre de gravité qui résulterait de la force centrifuge, à la vitesse normale.

Dans cette hypothése, qui n'offre rien de contestable, les quatre points du parallélogramme formé par les points d'appui des roues sur les rails seront absolument libres dans la voie. L'effort tangentiel au bandage sera guidé par la roue elle-même, et la pression de cette roue sur les rails dépassant de plus de cent contre un le frottement de glissement que la saillie du bandage pourrait exercer contre le rail dans le cas de déviation de l'axe de rotation, quelques instants de contact seulement auront lieu entre le rail et la saillie du bandage. Il y aura là un fait presque analogue à la descente d'un essieu monté de roues libres sur une rampe; il reste invariablement dans les rails, quel que soit le rayon des courbes qu'ils affectent, pourvu que le rail extérieur soit relevé normalement.

L'analogie serait complète si le chassis ne portait pas plusieurs essieux, et si l'effort tangentiel à la jante était égal ; mais les inconvénients des essieux parallèles seront presque nuls, à cause de la faible distance dont ils seront espacés (1^m10); et, quant à l'effort tangentiel, il suffit, pour qu'il soit égal sur les deux roues, que les dimensions des cylindres soient telles qu'ils

ne puissent faire glisser les roues sur les rails ; en d'autres termes que le travail moteur ne dépasse pas l'adhérence, et que la pression de vapeur soit égale dans les cylindres opposés.

Il est un autre avantage et l'un des plus précieux du système de locomotion proposé, c'est de pouvoir descendre les pentes en faisant usage de la contre-vapeur, comme frein ordinaire, les autres n'étant ici que des auxiliaires en cas de désarroi des appareils moteurs.

La contre-vapeur est le plus élastique et le plus puissant de tous les freins, surtout dans les conditions de division où il serait ici pour l'application de la force d'enrayage.

Le meilleur frein n'est pas seulement celui qui peut à la fois enrayer toutes les roues, c'est aussi celui qui peut toujours, avec la plus grande facilité et la moindre manœuvre, modérer la vitesse. La contre-vapeur, appliquée à toutes les roues du train, jouira de tous ces effets à coup sûr.

L'exemple du chemin américain qui, depuis plusieurs années, traverse le faîte des Alleghanys par une série de rampes dont plusieurs dépassent 50 m/m (1), doit être cité comme preuve de la sécurité avec laquelle ces rampes peuvent être descendues. Le frein de la machine, celui de chaque voiture, le soin de régler la vitesse au-dessous de celle qui correspond à la surélévation du rail extérieur des courbes, sont autant de précautions, dont une seule suffit, et dont l'ensemble offre des garanties complètes contre les éventualités à prévoir en toute circonstance ; et cependant les trains ne disposent dans cet exemple que de l'adhérence de la machine.

Les rampes seraient descendues à la vitesse de 8 kilomètres. La surélévation du rail extérieur dans les courbes serait réglée pour une vitesse triple. L'ingénieuse application due à M. Forquenot,

(1) Voir le rapport de M. Ellet, note B, page 365.

de la force centrifuge à l'enclanchement des freins ordinaires ne permettrait pas de dépasser la vitesse réglementaire.

Les puissances mécaniques peuvent être et doivent être appliquées de façon que la sécurité de la locomotion soit très-supérieure à celle qu'offre l'emploi des chevaux et des véhicules actuels. Il faut que la possibilité de tout péril disparaisse devant les combinaisons mécaniques; sans cela, on laisserait derrière soi une objection capitale. La docilité de la matière doit être rendue d'autant plus absolue par des dispositions *self-acting*, que les circonstances de son emploi offrent des dangers plus grands. Sous ce rapport, il ne peut y avoir un ensemble de forces plus susceptibles de dominer le mouvement en marche d'un train, que la contre-vapeur appliquée à toutes les roues des véhicules de ce train, pouvant produire, non-seulement l'arrêt à peu près immédiat du convoi entier, mais encore son retour rapide en arrière.

Avant d'aborder les considérations financières qui décident, autant que les considérations techniques, de la possibilité ou de l'opportunité de l'exécution d'un projet, il convient d'apprécier la valeur des objections que soulèvent les dispositions que nous proposons.

Nous donnons le premier rang à cet égard à l'opinion de l'ingénieur, qui est sans contredit le plus expérimenté dans ces questions, parce que tous ses efforts sont tournés, depuis de longues années, vers l'utilisation de la machine locomotive, par un emploi plus approché de la limite d'adhérence qu'il n'a été fait jusqu'à présent en France et en Angleterre. Il est ainsi parvenu, dans l'exploitation de celui des réseaux français qui est relativement le plus actif de tous en trafic, à réduire, par un progrès sûr et continu, la dépense du travail de ces machines.

D'accord avec nous que les passages des Alpes ne doivent pas être abandonnés aux lenteurs d'exécution et aux éventualités des

projets en voie d'exécution, qu'il faut une solution immédiate, fût-elle provisoire, et qu'en conséquence il ne faut pas hésiter à passer les cols à ciel ouvert, il ne croit pas indispensable d'accumuler, comme nous l'avons fait, tant de conditions nouvelles pour la solution du problème; il lui semble que l'on peut atteindre le but par les moyens que l'art consacre aujourd'hui.

Il considère la construction d'un conduit de vapeur passant sous les voitures du train comme une objection capitale, et il renoncerait en conséquence aux rampes de 50 millimètres, en prenant pour limite les rampes de 35 millimètres sur lesquelles les machines peuvent remorquer un poids deux fois et demi plus grand que le leur, ce qui suffirait à un trafic considérable.

Si les rampes de 50 millimètres étaient indispensables, il préférerait encore une exploitation par machines légères portant elles-mêmes les voyageurs et les marchandises.

Il n'admettrait pas, pour les courbes, le rayon de 20 à 25 mètres, ni l'emploi des roues indépendantes, parce que le matériel suisse peut facilement passer dans des courbes de 100 mètres de rayon, et que les machines à faible écartement des essieux les franchissent sans trop de fatigue; il ne croit pas que la différence dans la dépense d'exécution de la voie, entre les deux rayons de 25 et de 100 mètres, soit telle qu'il y ait lieu, pour cette seule cause, de changer les conditions essentielles du matériel généralement adopté sur les chemins français et italiens, et d'en rendre l'emploi impossible pour la traversée des Alpes.

L'examen des lieux, dans le passage du Splugen, le dispose à croire qu'en profitant de toutes les ressources du sol; qu'en perçant de très-courts souterrains; qu'en utilisant toutes les parties des versants où le chemin peut être établi, soit en galeries à jour dans le flanc même de la montagne, soit en tournant souterrainement par des courbes de 100 mètres, il n'y aura guère qu'un supplément de dépense égal à l'allongement de 8 kilomètres 1/2

auquel donnerait lieu sur chaque versant l'adoption d'une rampe de 35 millimètres au lieu de 30.

Il trouverait à cette solution le grand avantage de se prêter à des améliorations qui, si le passage du col à ciel ouvert était consacré par l'expérience, permettraient de ramener peu à peu le chemin, suivant les ressources du trafic, aux conditions ordinaires, en augmentant les rayons des courbes exceptionnelles.

Notre réponse est facile, peut-être parce qu'il est peu d'ingénieurs qui aient été placés plus favorablement que nous pour juger le parti qu'on peut tirer de l'emploi de rampes de 35 millimètres, par l'emploi de la locomotive.

Loin donc de contester la justesse de ces vues, nous les partageons complétement; et, si nous avions *charge de capital* pour une entreprise telle que celle dont il s'agit, nous voudrions les appliquer, et faire mieux, si c'était possible dans les limites de dépense que le trafic à attendre pourrait justifier.

Dans tous les cas, les dispositions que nous proposons devant être sanctionnées par l'expérience avant aucune application, les objections techniques qu'elles soulèvent aujourd'hui à l'endroit des appareils auraient cessé de subsister, et il n'y aurait plus qu'à choisir entre la dépense de l'un ou de l'autre système.

Mais l'examen des lieux nous a convaincu que l'établissement des rampes de 35 millimètres et des courbes de 100 mètres de rayon est, au moins sur le côté le plus abrupte des versants, une difficulté presque insurmontable, à moins d'énormes sacrifices d'argent.

La route du Simplon, qui, de Glys à Domo-Dossola, compte 63 kilomètres, et dont la pente moyenne est, sur le versant du Nord, de 58 m/m, et sur le versant du Sud, de 41 m/m, a coûté 18,000,000 fr., soit 285,000 fr. par kilomètre. Il a fallu six années pour l'exécuter. L'élite des ingénieurs Français et Pié-

montais y a été employée. Son profil est très-irrégulier, mais, en somme, la route est belle, et c'est une œuvre habile et grande.

Il est possible d'apprécier ce qu'il en eût coûté de construire à la place de cette route un chemin de fer, par l'exposé même que la compagnie de la ligne d'Italie vient de faire récemment à ses actionnaires des différentes solutions qu'elle propose pour le passage du Simplon.

« 1° Amélioration de la route actuelle; établissement d'un tram-way sur la route, avec des galeries en bois dans la région des neiges.

« 2° Adoption de petits souterrains de 4 ou 5 kilomètres au col avec de grands développements.

« 3° Emploi de souterrains moyens de 8 à 9 kilomètres, avec des développements beaucoup plus courts; le maintien de la voie ferrée au-dessous de la région des neiges, et le maintien d'un maximum de 28 millimètres de rampe.

« 4° Percement d'un souterrain de 17,000 mètres, faisant de la ligne une voie ferrée de plaine (*sic*). »

Partant de la première de ces propositions, nous établirons le devis suivant :

Dépense d'établissement qu'a coûté la route actuelle de 63 kilomètres.	18,000,000
Travaux nécessaires pour porter le rayon des courbes à 100 mètres; pour couvrir plus complétement les parties exposées aux avalanches; pour l'amélioration des ouvrages d'art : environ 75,000 fr. par kil.	4,725,000
Allongement de 23 kilomètres pour obtenir une pente régulière de 33 m/m.	8,350,000
La voie, à 120 fr. par mètre, eût coûté. . . .	10,320,000
Enfin la perte d'intérêt pendant six années.. . .	5,000,000
Total de la dépense d'exécution d'un chemin de fer en rampes de 33 millimètres sur le Simplon . .	46,395,000

C'est 540,000 fr. par kilomètre.

La pente rachetée est de 3,011 mètres, en comptant les deux versants. Or, une rampe de 50 millimètres ne nécessiterait que 60 kilomètres de chemin, au lieu de 86. Ces 60 kilomètres, comptés à 450,000 fr., laisseraient 19 millions d'économie sur la traversée du Simplon par des rampes de 35 millimètres (1).

Quelque bon marché que l'on puisse faire de ces chiffres, dont un seul cependant est basé sur des appréciations vagues, toujours est-il qu'ils expriment nettement, par leur comparaison, les limites dans lesquelles la discussion doit se tenir.

Si, donc, nous n'avions pas la conviction qu'il existe une différence très-considérable, dans les dépenses et la durée d'exécution des travaux, entre un chemin à rampes de 35 m/m et à courbes pe 100 m., exploité à l'aide du matériel ordinaire, et un chemin à rampes de 50 m/m et à courbes de 20 mètres, exploité avec le matériel modifié comme nous l'avons indiqué, nos propositions perdraient, à nos propres yeux, toute opportunité.

Une autre objection a été soulevée par un ingénieur, à l'opinion duquel nous attachons un grand prix. Acceptant les données qui justifient la traversée des cols à ciel ouvert, l'emploi des rampes de 50 millimètres et des courbes de 20 mètres, l'utilisation du poids des trains à l'adhérence, et la substitution de la surface de chauffe au poids des machines comme limite de la puissance motrice, il objecte que ces dernières données ne trouvent pas, dans la description des appareils, une base suffisante, et que, pour ceux que l'application laisserait dans l'incertitude, la question se trouverait ainsi résolue par la question.

Nous avions exprimé l'intention de revenir ultérieurement sur cette seconde partie de notre étude, mais nous croyons devoir

(1) Voir la note F, page 80.

suivre le conseil qui nous est donné, de faire connaître au moins succinctement les dispositions mécaniques que nous croyons propres à atteindre le but. C'est l'objet de la note E.

3.

Considérations financières.

La comparaison des dépenses d'exécution du passage des Alpes par des souterrains ou à ciel ouvert est facile, à cause de l'identité remarquable qu'offrent ces passages dans la configuration que la nature a donnée au sol.

Il est inutile de faire entrer dans cette comparaison la partie du tracé des lignes qui se dirigent sur ces passages jusqu'à la hauteur de mille mètres, puisquelle est une constante pour tous, à l'exception de la longueur. Le thalweg des vallées étant, dans cette région, plus long que le chemin de fer, il faudrait partir d'un point de départ commun pour comparer la longueur, ou en aller chercher plusieurs placés à de très-grandes distances; l'une et l'autre base serait contestable.

Il suffit qu'entre le Simplon et le Saint-Gothard la distance d'accès à mille mètres au-dessus du niveau de la mer soit en faveur du Saint-Gothard, pour que la comparaison s'applique utilement à ce dernier passage.

Dans le système des grands souterrains, des faibles rampes et des courbes de 300 mètres de rayon, le faîte, à partir de mille mètres, sera franchi presqu'à moitié de la hauteur, c'est-à-dire

jusqu'à 1,500 mètres, à ciel ouvert; les 500 mètres supérieurs le seront au moyen d'un souterrain de 10,000 mètres; la voie, si elle suit une rampe régulière de 30 millim. pour mètre, aura sur les deux versants un développement total de 33 kilomètres.

Le souterrain aura	10	»
Soit pour la longueur du passage	43	kilomètres.

Dans le système du passage à ciel ouvert, avec des rampes de 50 millimètres sur les deux versants, la longueur de la voie sera de 40 kilomètres.

La longueur de la voie est, dans ce cas, de sept et demi pour cent en faveur du second système.

Mais la construction de la voie avec l'emploi de courbes de 300 mètres de rayon coûtera beaucoup plus cher qu'avec des rayons de 20 mètres. La différence, portant sur les terrassements et les travaux d'art, peut n'être pas moindre de cent mille francs par kilomètre.

Il n'y a pas place dans ces vallées sans d'énormes dépenses pour de grands viaducs ou de grands ponts. Il faut garder le sol partout, soit sur les versants, soit à leur pied. Les terrassements, les déblais dans la roche et les murs de soutènement constitueront le travail principal.

Dix kilomètres de voie seront dans le premier système construits en souterrain; dans le second, ils le seront à ciel ouvert.

Un souterrain construit sur une pareille longueur doit avoir des dimensions exceptionnelles; la dépense d'exécution en a été portée dans les estimations à 2,000 francs par mètre courant. Cette appréciation ne comprend pas les pertes d'intérêt et les éventualités de dépense résultant de l'importance des établissements à faire aux entrées du souterrain et aux ouvertures des puits, pour parer aux conséquences de l'hiver dans ces régions.

Ces divers éléments de dépense porteraient le prix du mètre courant de souterrain à 2,500 fr. environ (1).

D'après ces dispositions, le coût du premier système s'établirait ainsi :

33 kilomètres de voie (2)	à 400,000 fr.	13,200,000 fr.
10 dito	à 2,500,000	25,000,000
	Total des dépenses.	38,200,000

Dans le second système, la dépense serait :

40 kilomètres de voie à 300,000 fr.	12,000,000 fr.

La différence de 26 millions, sans tenir compte de la perte d'intérêt, est fort importante à considérer, car, dans de certaines conditions de trafic, elle peut rendre rémunératrice une entreprise qui semblait privée d'avance de toute chance de ce genre.

Mais au point de vue de l'utilité publique, la différence est bien plus importante, puisque l'exécution du système des grands souterrains est tout à fait problématique quant à la durée d'exécution, qui peut être de 25 à 40 ans, suivant la nature des difficultés à attendre dans un si grand travail, tandis que le chemin peut être construit à ciel ouvert dans l'espace de 3 à 4 ans, sans difficultés sérieuses.

L'économie d'établissement du second système serait-elle diminuée par une différence dans les dépenses d'exploitation? Cela est présumable, mais dans une proportion relativement très faible. Il est plus coûteux de franchir des rampes de 50 millimètres que

(1) Le prix de 2,000 fr. fait supposer au souterrain des dimensions ordinaires, sans revêtement. Cette supposition est fondée, pour le passage de St-Gothard, sur la verticalité des couches de gneiss et de granit entre Andermatt et Airolo.

(2) Si le souterrain du faîte du St-Gothard était, comme l'a projeté M. Koller, incliné à 25 millimètres, il faudrait retrancher 16 kilomètres à ce calcul.

de 30. Il faudra plus de combustible, l'entretien du matériel sera plus dispendieux ; mais quand la différence serait de 0 fr. 50 c., même de 1 fr. par kilomètre, ce qui n'est pas présumable, le supplément de dépense, en comptant 10 trajets par jour sur ces 40 kilomètres, serait, par année, de 73,000 à 146,000 fr., représentant au maximum un capital de 2,500,000 francs seulement, à déduire des 26,000,000 d'économie du second système sur le premier.

Il ne faut pas, du reste, attacher une importance absolue à ces chiffres. Ils n'ont de valeur réelle que dans la comparaison des systèmes entr'eux.

Ce qu'il faut considérer, c'est que, dans le système adopté pour le Mont-Cenis, le chemin de fer présente dans ses conditions de construction, à cause de ses courbes de 350 mètres, une rigidité qui est constamment en lutte avec la configuration du sol ; tandis que dans le second système, les courbes se prêtent avec une élasticité bien plus grande aux accidents du sol. Il faut ensuite comparer les travaux d'un grand souterrain à ceux d'un chemin à ciel ouvert ; nous en avons assez dit sur ce chapitre : c'est la considération capitale.

Il faudrait, sans aucun doute, avant d'affirmer que 40 kilomètres de chemin de fer à deux voies peuvent être construits sur les deux versants des passages des Alpes, en rachetant mille mètres de chaque côté, pour douze millions, s'étayer d'études locales très-étendues ; mais il n'est compris dans ce chiffre aucune dépense autre que celle des terrassements, travaux d'art et voie. L'examen attentif des lieux inspire la confiance que si ces travaux étaient faits suivant l'esprit qui a dirigé la construction des routes, ces estimations seraient confirmées.

Quelle que soit la part à faire à des difficultés imprévues ou à celles que l'étude ferait connaître, il est incontestable que le passage des Alpes à ciel ouvert, dans les dispositions dont il s'a-

git, ne coûterait pas plus de 400,000 fr. par kilomètre. C'est ce que coûteront la partie du nouveau réseau de la compagnie d'Orléans, que le Grand-Central avait entreprise, et les autres lignes du réseau de Paris à la Méditerranée situées dans les contrées où le sol est accidenté.

Une dépense de 400,000 fr. par kilomètre exige un produit net de 24,000 fr., et comme la dépense d'entretien et d'exploitation sera forte, il faut supposer un produit brut de 42,000 fr.

Une pareille recette, en la supposant partagée dans la proportion de 18,000 fr. pour les voyageurs, et 24,000 fr. pour les marchandises, exigerait le passage de 90,000 voyageurs par an, soit 45,000 dans chaque direction, au tarif de 20 centimes par kilomètre, et de 100,000 tonnes de marchandises, au tarif de 24 centimes par tonne et kilomètre. Ces quantités peuvent être raisonnablement prévues, si la concurrence ne s'établit pas entre plusieurs passages Suisses.

La dépense d'exploitation supposée à 18,000 fr. par kilomètre, se partagerait en dépense de locomotion, de mouvement, de gares et tous frais de service autres que l'entretien de la voie, et en comptant dix trains par jour, soit cinq dans chaque sens :

Locomotion, 3,650 kilomètres à 3 fr. .	10,950 fr.
Entretien de la voie par kilomètre. . .	7,050
Dépense par kilomètre de voie. . . .	18,000

L'exagération de ces chiffres paraîtra bien forte à ceux qui ont l'expérience des services d'exploitation. Mais ils répondent au but, qui est de mettre en lumière ce résultat : que le passage des Alpes, exécuté dans les conditions qui sont décrites dans ce mémoire, peut être une entreprise rémunératrice.

Note A.

Extrait du rapport de M. Douglas Galton, Ingénieur, Président du Bureau de Contrôle des chemins de fer en Angleterre, chargé d'examiner les chemins de fer des Etats-Unis (1).

Comme la question de dépense était plus importante pour la construction des chemins de fer que pour leur exploitation, on a adopté sans hésiter des courbes de faible rayon, et des inclinaisons considérables. Les chemins ont ainsi été établis dans les conditions les plus économiques.

La ligne de Baltimore à l'Ohio présente un exemple frappant de ce système, dans lequel on livre à la circulation un chemin à fortes pentes, pour les réduire ensuite pendant l'exploitation.

Afin d'éviter, pour quelque temps, la construction onéreuse d'un tunnel, on a fait une série de zigzags, s'élevant jusqu'au sommet d'une montagne à l'aide de pentes, dont le maximum est de 1/18ᵉ ou 0 m. 0556 par mètre.

Chaque zigzag se termine par un petit palier; de cette façon, le train arrive sur ce palier machine en tête, et passe au zigzag suivant machine en queue, et ainsi de suite.

La charge que l'on peut traîner sur un pareil chemin est nécessairement très-faible. On y rencontre des courbes de 110 mètres de rayon; celles de 122 mètres sont fréquentes.

Note B.

Rapport de M. Ellet sur le chemin de fer traversant la chaîne des montagnes Bleues (Etat de Virginie). Automne, 1856 (2).

Le *Mountain Top Track* est une portion de la ligne de Richmond à l'Ohio, maintenant en cours d'exécution dans la partie centrale de l'état de Virginie. — La république de Virginie a entrepris la construction de vingt-sept kilomètres de chemin de fer, comprenant le passage de la *Crête Bleue* et le tunnel que l'on supposait nécessaire pour ce passage.

Après quatre années de travaux, on acquit la conviction qu'il fallait trois ans encore pour achever le tunnel. M. Ellet, ingénieur en chef de la compagnie, voyant que cette dernière ne pourrait jouir de l'intérêt de l'argent dépensé pour les ouvrages terminés, se décida à imiter l'exemple qu'avait donné M. Latrobe, ingénieur du chemin de l'Ohio, en faisant franchir par les locomotives

(1) M. Molinos a donné une traduction de ce rapport dans les mémoires de la Société des Ingénieurs civils, année 1858, page 59.

(2) The Engineer, vol. iij, 1857, page 73. Une analyse de ce rapport a été lue à la Société des Ingénieurs civils par M. Nancy, 1857, page 823.

les cols de montagne, sans attendre l'établissement des souterrains de Kingwood et de Board-Tree. M. Ellet prit le parti de traverser la crête par un chemin provisoire, propre à la circulation des machines locomotives. Il a ainsi réuni les deux portions arrêtées au pied de la montagne, à l'est et à l'ouest.

La description de ce tronçon, résolu malgré l'opposition des collègues de sa profession, exécutée en sept mois, le résultat qu'il a permis d'atteindre, et les moyens employés pour cela, forment l'objet du mémoire de cet ingénieur.

Description du chemin.

Le *Mountain Top Track* traverse le faîte de la *Crête Bleue* à *Rock Fish Gap*, à la hauteur de 575 mètres au-dessus du niveau de la mer. Le plateau de ce faîte est très-étroit; on le franchit à l'aide d'une courbe de 90 mètres de rayon; il peut à peine contenir un train complet; sur les deux versants, la pente descend immédiatement avec une déclivité considérable.

Côté de l'Ouest. — La longueur du versant de ce côté, depuis le sommet jusqu'à ce que l'on peut appeler le pied de la montagne, est de 3,248 mètres. La hauteur à racheter est de 137 m. 25 c.; cela donne une pente uniforme de 0,0422; la pente maxima est de 0,053. Des deux côtés de la montagne les courbes ont 90 mètres de rayon; elles sont tracées sur des rampes de 0,045.

L'excès de la pente maxima sur la pente moyenne résulte de ce que l'on a essayé de compenser par la distribution des rampes les effets de la courbure. Il n'y avait pas de données d'expérience sur lesquelles l'auteur pût se baser pour calculer arithmétiquement l'influence des courbes qu'il fallait adopter sur ce chemin et la quantité dont il fallait diminuer la pente pour tenir compte du surcroît de résistance à la traction produit par les courbes. — Aujourd'hui même les connaissances des ingénieurs sont très-limitées sur cette question, encore qu'il ne s'agisse que des rayons habituellement admis, et en supposant l'emploi des machines ordinaires remorquant les charges adoptées généralement. — L'auteur n'avait donc pas de guide pour la construction d'une ligne aussi anormale que celle dont nous nous occupons; les hypothèses qu'il a faites sont de simples conjectures.

A l'ouverture de la ligne, on s'aperçut que les différences de hauteur verticale par kilomètre de 8 mètres 10 centimètres à l'ouest et de 10 mètres 90 centimètres à l'est, entre les inclinaisons en ligne droite et en courbe de 90 mètres, ne suffisaient pas pour compenser l'excès de traction qui résulte de cette courbure. La vitesse, bien que la production de vapeur fût constante, diminuait lorsque la machine entrait en courbe, et augmentait lorsque l'on reprenait un alignement droit. Après quelque temps d'exploitation, on a trouvé très-avantageux de graisser la saillie des bandages de la machine à l'aide d'une éponge imbibée d'huile, que l'on applique sur la roue avec un

ressort si cela est nécessaire. Depuis qu'on a eu recours à cet artifice, il n'a pas été possible de dire si une machine franchit plus facilement une courbe de 90 mètres avec une rampe de 0,045, qu'un alignement droit avec une rampe de 0,0560.

Côté de l'Est. — Les difficultés étaient plus grandes du côté de l'est. La hauteur à franchir était plus considérable; la pente devait être plus forte, pour qu'on pût atteindre un niveau que l'on devait considérer dans le tracé comme un point obligé. La longueur de la ligne de déclivité, du sommet à la base, est de 4,215 mètres; la différence de hauteur est de 186 m. 67 c., et la pente moyenne de 0,049. La pente maxima qui règne sur 800 mètres est de 0,056. On s'était promis de ne pas avoir de rayon inférieur à 90 mètres; mais pendant la construction il a fallu, en un point difficile, recourir à une courbe plus raide pour entrer plus avant dans le coteau, et éviter de faire un remblai sur une roche abrupte et peu sûre. Ce point se trouve à peu près au milieu du versant de la montagne; le courbe y est de 71 m. 37 c., et la pente de 0,045 par mètre.

La longueur totale du tronçon, du pied de la montagne à l'est au pied de la montagne à l'ouest, est de 7,061 mètres.— Mais comme il est survenu des obstacles dans la construction d'autres parties du chemin, il est devenu nécessaire de le prolonger de 5,631 mètres, et de le contourner en quatre points différents pour éviter des tranchées et des remblais. — De cette façon, la distance totale parcourue par les machines de montagnes est de 12,872 mètres environ (8 milles).

Locomotives.

L'ouverture du chemin a eu lieu au printemps de 1854, et il a maintenant (automne 1856) plus de deux ans et demi d'exploitation. Pendant tout ce temps les machines sur lesquelles on avait compté pour faire le travail extraordinaire dont on avait besoin n'ont manqué qu'une seule fois dans leur service. La montagne a été couverte d'une épaisse couche de neige pendant des semaines entières : les tranchées se sont fréquemment remplies de neige chassée par le vent, la terre était couverte de glace et de verglas; tous les obstacles que produisent le mauvais temps et les rigueurs de la saison d'hiver ont été surmontés avec succès.

Pendant le dernier hiver, qui a été si rude, lorsque l'on ne pouvait plus circuler sur les chemins de Virginie et des états du nord et de l'ouest, et que toute circulation était interrompue sur plusieurs lignes de fer, les machines n'ont pas cessé, à l'exception du jour que nous avons déjà mentionné, de traverser ce faîte, régulièrement et conformément au service établi. Par le fait, pendant deux ans et demi le service de la poste s'est fait journellement, à l'exception du seul jour où le train a été enveloppé par une trombe de neige.

Ce résultat est dû sans aucun doute à l'excellent système de machines que

nous avons employé, mais il faut aussi en attribuer le mérite à l'ingénieur chargé de la direction et du service de la traction.

Ces locomotives ont été construites par MM. Baldwin et compagnie, de Philadelphie. Les légères modifications qu'y a introduites l'auteur de cette notice pour le service particulier du tronçon n'ont rien changé au principe du système, et tout le mérite revient au constructeur.

Ces machines sont montées sur six roues couplées; leur diamètre est de 1 m. 067. Les roues sont très-près les unes des autres; l'écartement des essieux extrêmes est de 2 m. 85. Ce rapprochement des essieux a pour effet de diminuer la résistance dans les courbes.

Le diamètre des cylindres est de 42 centimètres, et leur course de 51 centimètres.

Afin d'augmenter le poids servant à l'adhérence et d'éviter la résistance d'un tender, la machine a son réservoir au-dessus de la chaudière, — le chassis fait une égale saillie aux deux extrémités du bâtis et porte des caisses suspendues, dans lesquelles on peut avoir une réserve de combustible. — Par ce moyen, le poids de l'eau et du bois, au lieu d'être remorqué par la machine, sert à augmenter son adhérence, et l'aide à gravir la montagne.

Le poids total de ces machines est de 24,937 kilogr., lorsque la chaudière et le réservoir sont pleins d'eau, et avec un approvisionnement de bois pour un parcours de 12,872 mètres.

La capacité des réservoirs d'eau est de 2 m. 80. Le cube de la caisse à bois est de 2 m. 80, sans parler des caisses suspendues latéralement.

Pour permettre aux machines de mieux s'adapter aux courbures du chemin, les essieux d'avant et du milieu sont reliés par des tirans en fer forgé, terminés à chaque extrémité par des boîtes cylindriques destinées à les embrasser. — Ces tirans tournent autour de chevilles sphériques fixées au chassis de la machine de chaque côté, et reposant sur leurs centres. — L'objet de cette disposition est de former un truck flexible, qui permette au mécanisme de franchir facilement les courbes du chemin.

Trois machines ont été construites pour traverser le faîte : deux d'entre elles étaient conformes à la description précédente, la troisième a été faite par M. Jos. Anderson de Richmond. C'est un bon appareil, capable de rendre de bons services. Reposant sur huit roues, plus rigide que les précédents, il ne s'applique pas aussi bien aux courbes très-raides. C'est donc une machine de réserve, qui sert quelquefois à relever de leur service les machines Baldwin.

Travail et vitesse des machines.

L'auteur n'a jamais permis d'employer les machines à leur maximum de puissance. Son but était de faire une exploitation régulière, économique, et

par dessus tout d'assurer une sécurité absolue. Ces conditions sont incompatibles avec l'emploi de charges excessives, qui soumettent le mécanisme à des efforts considérables. Le service journalier des machines consiste à faire quatre parcours de 12,872 pour franchir le faîte, en remorquant dans chaque sens un wagon de bagages à huit roues et deux voitures à voyageurs.

Pour le service des marchandises, le train se compose de trois wagons appelés *house-cars*, entièrement chargés, ou quatre de ces wagons, s'ils sont incomplets. — Cela fait une charge de 40 à 43 tonnes. — Quelquefois, mais très-rarement, lorsque le trafic s'accroît exceptionnellement, les poids remorqués ont dépassé 50 tonnes (1).

Avec les trains ainsi composés, le mécanicien peut s'arrêter sur les rampes les plus raides et se remettre en marche à volonté.

On a eu quelques difficultés à se procurer de l'eau sur la montagne : depuis la construction du chemin, sur le versant de l'Est, on a établi un réservoir. Les machines s'y arrêtent tous les jours, bien que ce soit sur une rampe de 0.053. — Les freins les retiennent pendant le temps que dure l'alimentation; elles se remettent en route sans difficulté, lorsqne le signal est donné.

La vitesse ordinaire des machines, lorsque les trains sont chargés, est de 12 kilomètres en montant et de 8.8 à 9.6 en descendant. Il n'est pas douteux que l'on ne puisse atteindre des vitesses plus considérables et remorquer des poids plus lourds avec un plein succès; mais la Compagnie s'est imposé de faire l'exploitation avec une entière sécurité, sans courir aucun risque, afin de conquérir et de garder la confiance publique.

Freins et attelages.

Le réglement exige qu'aucun wagon ne franchisse la montagne sans être muni pour chaque roue d'un frein capable de l'enrayer et de l'empêcher de tourner. Toutes les dispositions proposées pour permettre au mécanicien d'agir sur tous les freins à la fois ont été rejetées, parce que la tige unique qui aurait transmis l'action du mécanisme venant à se rompre, tous les freins qui en auraient dépendu seraient devenus inutiles.

Il est réglé en outre qu'après chaque voyage, les freins seront visités par un agent spécial, et mis en parfait état avant que la machine ne vienne s'atteler au train.

La rupture d'un attelage est une cause d'accident qui prendrait une grande

(1) Le poids du train entier est donc, machine comprise, de 70 tonnes; l'effort de traction sur la rampe de 56 m/m de 64 kilogr. par tonne, ou 4,480 kilogr. Ce qui constitue l'emploi de l'adhérence à 1/5,56 du poids porté par les roues motrices de la machine.

importance sur de pareilles inclinaisons, attendu que si un garde-frein négligeait, pendant l'ascension, de serrer son frein lorsqu'une barre d'attelage se casse, la voiture ne manquerait pas d'être précipitée au pied de la rampe.

Pour se garantir de ce danger, on a muni chaque voiture de tendeurs de sûreté, et, en outre, de chaînes très-fortes, qui servent d'attelage supplémentaire, ne devant fonctionner que dans les cas où le tendeur se romprait, et que l'on met en place lorsque les machines de montagne sont attelées au train.

Dans les conditions ordinaires, les freins de deux seulement des voitures suffisent pour contrôler et régler la marche de la machine, c'est-à-dire pour retenir les deux voitures et la machine. Quand il y a trois ou quatre voitures dans un train, les freins sont évidemment plus efficaces.

Toutefois la sécurité du train ne repose pas seulement sur les freins. — Il y a dans la chambre à vapeur une soupape manœuvrée par le mécanicien. — C'est un frein spécial qu'il peut faire fonctionner en marche.

L'action de cette puissance peut varier comme on veut. Elle peut venir en aide au frein des voitures ou mettre en jeu toute la force de la machine.

On a un approvisionnement de sable ; bien que les freins suffisent pleinement en temps sec, cependant ils manquent lorsque le chemin, les roues et les freins sont ensevelis dans la neige gelée et que le froid est intense.

Alors il faut employer le sable, suivant le cas, sous les roues d'avant ou bien sous les roues intermédiaires. Le frottement augmente ainsi autant que l'exige la sécurité des trains.

Dans les trains de voyageurs, il y a un garde-frein sur chaque plate-forme des wagons. — Cet agent ne quitte jamais son poste pendant la montée ni pendant la descente. — Pour les trains de marchandises, il y a quatre garde-freins pour trois wagons ou cinq pour quatre wagons.

Un chemin comme celui-ci est très-dangereux sous une direction maladroite ou négligente. — Mais si les règlements sont strictement observés, si l'on se maintient toujours dans les limites prescrites de vitesse et de charge, l'exploitation est aussi sûre, si elle n'est pas plus sûre, que sur les chemins ordinaires avec les précautions ordinaires.

Dépenses d'entretien.

Les dépenses d'entretien et d'exploitation de ce chemin ne sont pas aussi grandes que l'on pourrait se l'imaginer d'après son caractère et ses difficultés exceptionnelles.

La consommation de combustible de l'une des machines de montagne sur le versant de l'Est, du pied de *Robinson's Hollow* au sommet sur une distance de 4,215 mèt., dans laquelle on s'élève de 201,30 mèt., et on rencontre de mombreuses courbes de 90 mètres, est de $1^{m}176$ de bois, coûtant 8 fr. 38 c. — Le poids de la masse en mouvement est de 70 tonnes.

Le combustible dépensé sur toute la longueur du tronçon, depuis la station de Grenwood jusqu'au pied de la montagne du côté de l'Ouest, sur une distance de 12,872 mètres, est de 2 mètres 352 coûtant 6 fr. 66 c., sans y comprendre l'allumage.

La dépense de traction pour les deux machines, faisant chacune deux voyages d'aller et retour, s'établit ainsi :

2 mécaniciens	à 375 fr.	par mois	750 fr.
6 garde-freins	à 100	—	600
2 —	125	—	250
2 chauffeurs	à 125	—	250
2 —	87-50	—	175
1 ajusteur	à 375	—	375
Ensemble pour les trains.............			2,400
Matières consommées par 2 machines.....			1,750
		Total par mois	4,150
		par an	49,800

Entretien de la voie.

Chef de service, par an.	6,000 fr.
2 chefs de section, à 2,000 fr.	4,000
12 terrassiers (nègres), à 750 fr.	9,000
manœuvre au dépôt de bois.........	750
2 gardes, à 1,200 fr.	2,400
1 garde de nuit au Terminus	1,825
Total	23,975
Ajoutant ce que nous avons trouvé plus haut.	49,800
Total général ...	73,775

Soit par kilomètre exploité et par an : 5,731 francs.

Cela correspond à 1 fr. 59 c. par kilomètre parcouru.

Il faut évidemment ajouter à cela les dépenses de réparations des locomotives et des wagons, ainsi que la dépréciation de ce matériel.

Les machines étaient, lorsqu'on les a livrées à la Compagnie, dans un excellent état. Elles n'ont eu besoin que d'un petit nombre de réparations courantes au delà de celles que pouvait faire le mécanicien dans son service journalier.

Il n'a pas été tenu un compte séparé de ces dépenses, qui ont été confondues avec celles du réseau entier.

NOTE C.

De la nécessité de faire de nouvelles expériences sur le frottement,

PAR E. MORRIS, C. E.

Extrait du Journal du Franklin Institute.

Un grand nombre de mathématiciens qui ont étudié les sciences appliquées se sont dévoués à la recherche du frottement des matières, depuis Amontons (1669), en passant par Coulomb (1781), Vince (1785) et Rennie (1829) jusqu'à Morin (1831-4).

Bien qu'Amontons, de la Hire et Euler, aient trouvé que le frottement de glissement entre des corps durs, sans enduit interposé, est égal au 1/3 de la pression normale, Rennie et d'autres autorités acceptées ont démontré par expérience que l'on pouvait estimer la valeur du frottement entre les surfaces dures au 1/6 de la pression normale lorsqu'il n'y a pas d'enduits interposés; mais ces expériences étaient faites, en ce qui concerne Rennie, avec des pressions faibles ne dépassant pas 38 kil. par pouce carré, — et nous pouvons ajouter ici que les mécaniciens ont circonscrit leurs expériences jusqu'au *grippage* seulement, — quoique Morin ait dit que le frottement sans l'interposition d'enduits produit quelque grippage; mais cela n'invalide pas nos conclusions, attendu qu'en raison de la faible valeur des pressions expérimentées ce grippage était insensible, ou trop peu important pour influer d'une manière quelconque sur les résultats obtenus.

Les expériences de Morin ont confirmé celles de Rennie; — mais les poids employés étaient tout à fait insuffisants pour permettre l'étude de ce que nous appelons maintenant les *frottements sur les chemins de fer*.

Un seul fait suffira pour donner la justification de ce que nous avançons. — En 1833, Nicolas Wood a publié, en Angleterre, une édition très augmentée et corrigée de son excellent *Traité sur les chemins de fer*. Les propres expériences, citées dans ce *Traité* (bien qu'elles fussent faites avec des *poids insuffisants*), montrèrent que l'adhérence des roues de locomotives sur les rails variait entre 1/6 et 1/16. — Cette adhérence, comme on le sait, est leur force de traction et la limite d'une manière absolue.

Cependant, M. Wood, dans l'excellent ouvrage que nous venons de citer, conclut à adopter 1/15 comme la fraction du poids de la machine qui repré-

sentera son action, déduction faite de celle nécessaire pour se traîner elle-même.

Pour montrer les anomalies de la théorie du frottement à cette époque (1838), bien que les volumineuses expériences de Morin eussent été publiées depuis quatre ans et celles de Rennie depuis neuf ans, nous pouvons rappeler que, dans la même année, B. H. Latrobe, C.E, dans son excellent rapport sur le chemin de Baltimore à l'Ohio, déclarait que le coefficient réel de l'adhérence des machines était 1/7,5 de la pression.

Nous voyons donc que des deux côtés de l'Océan, exactement à la même époque, deux des plus grandes autorités sur la question des chemins de fer (toutes deux également compétentes sur les connaissances acquises au sujet du frottement), établissaient les conclusions les plus importantes et les plus vitales sur l'adhérence des locomotives.—Cependant, le savant Anglais prenait un 1/16 pour coefficient tandis que l'Américain le fixait à 1/7,5, c'est-à-dire au double. — Nous pouvons ajouter que M. Latrobe était plus près de la vérité.

Longtemps après (1853), M. Latrobe a trouvé, par des expériences faites avec soin, à l'occasion de l'ouverture de la section du chemin de Baltimore à l'Ohio, qui traverse les montagnes, que l'adhérence des machines, marchant à pleine charge, était à peu près de 1/3. A l'appui de ce fait, nous pouvons dire que le service des machines, lourdement chargées, a démontré péremptoirement qu'à de petites vitesses et avec des charges considérables, on peut largement compter sur une adhérence du 1/6 du poids sur les roues motrices, — pendant que, dans des circonstances favorables, une adhérence du tiers ou même de plus du tiers pouvait se développer, en dépit du 1/6 qui a été fixé par les écrivains modernes.

M. W. R. Casey est le premier qui ait attiré l'attention des hommes pratiques sur le fait que l'on appréciait à un chiffre beaucoup trop faible le maximum de l'adhérence : il a prouvé d'une manière concluante que, dès 1836, les locomotives américaines de Baldwin et de Norris avaient marché avec une adhérence égale *à la moitié* et au tiers du poids sur les roues motrices.

Ces faits et d'autres encore ont démontré clairement que les lois du frottement, comme les acceptait alors le monde scientifique, ne suffisent pas pour nous guider dans l'étude des nouveaux frottements que développe l'application de la vapeur aux chemins de fer. — L'incertitude qui règne dans l'esprit des ingénieurs au sujet de l'adhérence d'une roue tournant sur un rail explique, jusqu'à un certain point, l'étonnement éprouvé par beaucoup d'entre eux, lorsqu'ils ont vu des machines locomotives gravir des plans inclinés sur lesquels fonctionnaient des machines fixes. — Cette incertitude était vraisemblablement un des motifs pour lesquels un éminent ingénieur anglais, M. Vignoles, en 1844, a déclaré que la rampe de 0,02 était la limite de celles sur

lesquelles on pouvait appliquer la machine locomotive. Nous savons aujourd'hui cependant que, sur le chemin de Baltimore à l'Ohio, et celui du centre de la Virginie, des rampes de 0,05 et même de 0,10 ont été gravies avec succès (pendant un court espace de temps, il est vrai) par des locomotives remorquant des trains de voyageurs.

Pour s'expliquer les différences très grandes entre les coefficients de frottement, tels qu'ils résultent aujourd'hui de la pratique, et tels qu'ils se déduisent des lois de Morin et Rennie, l'auteur (sans vouloir en rien invalider les travaux des autres) a remarqué que les expériences sur le frottement des métaux en mouvement, d'après lesquelles on a déduit des lois, s'arrêtaient au moment où commençait le grippage, — pendant qu'au contraire, tous les frottements d'adhérence des chemins de fer sont des frottements essentiellement destructifs et dans lesquels les surfaces grippent constamment.

On voit donc que les expériences connues sur le frottement ne s'appliquent pas à la plupart de ceux qui se développent sur les chemins de fer. — De là résulte une nécessité réelle de faire des expériences nouvelles dans les circonstances qui se présentent sur les chemins de fer ou, du moins, avec des pressions d'adhérence analogues par unité de surface, de manière à s'en rapprocher le plus possible.

L'auteur a déjà traité cette question sous un point de vue analogue, en 1851, dans un article publié par le *Journal of the Franklin Institute*. Il suggérait alors que le frottement, dans le cas des pressions considérables qui se développent entre les roues motrices et les rails, pourrait bien être proportionnel aux surfaces en contact.

On se souvient que Rennie et Morin ont établi que le frottement est proportionnel à la pression normale, quelles que soient les surfaces en contact ou leur vitesse relative. Cette loi est généralement admise (bien que de récentes expériences, faites en France, tendent à prouver que le frottement est fonction de la vitesse). Si donc on peut démontrer que dans le cas des roues de locomotives, soit à cause du grippage, soit pour tout autre raison, le frottement augmente avec la surface dans une certaine proportion, et n'en est pas tout à fait indépendant, comme on l'enseigne aujourd'hui, des conséquences importantes résulteront de ce fait, et la nécessité de nouvelles expériences deviendra évidente.

En 1851, l'auteur disait : « Lorsque des machines font glisser leurs roues sur des rails, les deux surfaces grippent, la loi du frottement change, et l'on entre dans un nouvel ordre de faits, sur lesquels on n'a qu'un petit nombre de renseignements précis; nous savons seulement que le frottement augmente beaucoup. » L'auteur a souvent déterminé l'adhérence des machines d'après les charges traînées par elles sur des inclinaisons connues ; comme beaucoup d'autres, il a trouvé que l'adhérence dépassait la valeur de 1/6, donnée par Morin et Rennie.

Il a également remarqué que des locomotives chargées à la limite de ce qu'elles peuvent traîner, en passant de rails larges à des rails étroits, patinaient inévitablement en arrivant sur le rail étroit. Il avait conclu de là, en 1851, que des rails ayant toute la largeur que permet le bandage de la roue augmenteraient considérablement le pouvoir ascensionnel des locomotives sur les fortes rampes. Depuis ce temps-là un fait remarquable a été rendu public ; il paraît confirmer d'une manière concluante les vues de l'auteur à ce sujet.

Le fait auquel nous faisons allusion est le suivant ; il a été constaté sur le chemin de fer de *Mine-Hill et Schuylkill Haven*, où le trafic en charbon est considérable. Sur ce chemin, une rampe de 0m,017 par mètre, sur laquelle on a posé des rails étroits, précède immédiatement une rampe de 0m.024, sur laquelle les rails ont, au contraire, une grande largeur. L'ingénieur en chef, M. R. A. Wilder, dit qu'*une machine peut traîner une plus forte charge sur la rampe de* 0m.024 *que sur la rampe de* 0m.017, *bien que, dans le premier cas, les résistances soient largement d'un tiers plus grandes que dans le second.* Nous citons ici les paroles mêmes de M. Zerah Colburn, et nous pensons que l'hypothèse d'un excès de résistance du tiers est très-rationnelle, attendu que le rapport des inclinaisons seulement est de 1,41.

Il est singulier que l'une des expériences de Rennie (table viij, p. 159) (1), bien qu'évidemment considérée par lui comme anormale, confirme, dans une certaine limite, les considérations qui précèdent. Faites avec des poids beaucoup plus considérables, relativement à l'étendue des surfaces pressées, elles ont été poussées, dans quelques cas, au-delà des limites du grippage. Elles donnent, pour le frottement du fer sur le fer, sans enduit interposé, des valeurs beaucoup plus grandes que les autres expériences de Rennie. Ces coefficients, qui augmentent avec les pressions, varient entre 1/2,445 et 1/4 ; leur valeur moyenne est de 1/3. Néanmoins M. Rennie dans ses conclusions générales en donnant les lois du frottement mentionne à peine les résultats de cette table. Il donne 1/6 pour la valeur du coefficient de frottement des métaux durs sans enduit ; dans aucune des expériences de la table, le frottement du fer sur le fer n'a été au-dessous de 1/4.

Dans les expériences mentionnées dans ce tableau N° viij, les pressions étaient comprises entre 13,092 et 39,41 kil. par centimètre carré ; le coefficient de frottement a été, avec une même surface de 38,70 c/m. q., de 0.25 avec le premier poids, et 0.409 avec le second.

Ces expériences démontrent peut-être que la formule exacte qui conviendrait à ces expériences devrait contenir le poids, la surface, peut-être aussi la vitesse et la durée du contact, au lieu de contenir seulement la pression normale, comme la donnent MM. Morin et Rennie.

(1) Transactions philosophiques, années 1829.

Mais même ces pressions extrêmes des expériences de Rennie et des autres expérimentateurs sont faibles comparativement à celles des roues motrices des locomotives qui sont généralement de 4 tonnes en Amérique, et de 6 tonnes en Angleterre sur chaque roue.

A cause des déformations du matériel, nous pouvons admettre que la portée d'une roue motrice sur un rail peut s'étendre à 1,27 $\times$ 5,08 centimètres carrés. Nous n'avons donc qu'une surface de 1 centimètre carré pour un poids de 620 à 930 kilog.

Aucune pression de cette intensité n'a pu entrer dans les expériences des savants sur le frottement; par conséquent aucune de ces expériences ne peut représenter les conditions de frottement des chemins de fer. En raison des pressions considérables, le grippage est ici certain et incessant; et, dans les expériences, toutes les fois qu'il se produisait quelque grippage, le résultat était mis de côté.

M. Casey, dans l'article précédemment cité, a montré qu'il est tout à fait probable que l'adhérence des locomotives a, dans certains cas, dépassé 1/2. Tous les ingénieurs savent qu'elle dépasse fréquemment 1/6. Cependant, ce dernier chiffre est le coefficient maximum qu'admettent les expérimentateurs que l'on considère aujourd'hui comme les plus grandes autorités en matière de frottement. De nouvelles expériences sont donc, à tous égards, nécessaires pour régler ce point important de la mécanique appliquée, et nous espérons qu'on les entreprendra bientôt sur une échelle convenable.

Bien que MM. Rennie et Morin (sur les expériences desquels les lois admises aujourd'hui sont basées) aient décidé sans hésitation que le frottement ne dépend que de la pression, sans aucune relation avec la surface, le temps ou la vitesse, un savant plus ancien, le docteur Vince, dont ils connaissaient bien tous deux les expériences, avait démontré (*Transactions Philosophiques*, vol. LXXV) que le frottement d'un corps ne reste pas le même lorsque la surface de frottement varie, mais que, plus la surface est petite, moindre est le frottement, et ceci suppose que le grippage ne commence pas encore à se produire (1).

Cependant, les conclusions du docteur Vince n'ont pas arrêté les philosophes modernes, sous le prétexte que ses expériences ont été faites sur une échelle trop petite pour qu'on en puisse déduire des lois mécaniques. Néanmoins, il nous paraîtrait très probable que, dans certains cas, ces conclusions du docteur Vince fussent très correctes, attendu qu'il n'y a point de branche de la

(1) Muschenbrock, *Cours de physique expérimentale*, t. I, p. 202 et suiv., conclut de ses propres expériences que le frottement n'est pas exactement proportionnel à la pression, qu'il dépend de l'étendue des surfaces en contact, et de la vitesse (E. F.).

mécanique appliquée où l'on ait tiré d'expériences aussi anormales des déductions aussi forcées que les lois du frottement telles que tout le monde les admet aujourd'hui.

Cette observation ne nous paraît pas trop sévère lorsque nous nous rappelons que Rennie, après avoir montré, dans son tableau N° viij, que le fer sur le fer, sans corps lubréfiant, et sous l'action d'une pression ordinaire, éprouve un frottement de 1/3, a finalement adopté, précisément pour ce cas, le coefficient numérique 1/6.

Dans un autre cas, celui du bois dur avec un corps lubréfiant, M. Morin a adopté le chiffre de 1/6,2 comme valeur du *frottement au départ*, et 1/13,7 comme valeur du frottement pendant le mouvement. — Cependant, des expériences faites sur une grande échelle, par un comité de l'Institut de Franklin, ont démontré que ces coefficients sont la moitié de ceux donnés par M. Morin.

L'auteur va maintenant rapporter quelques anomalies frappantes, au sujet du frottement de poids considérables sur le bois, en supposant l'interposition d'un corps lubréfiant. Elles sont remarquables parcequ'elles prouvent l'inexactitude de quelques-uns des coefficients de M. Morin lorsqu'on les applique au mouvement de poids considérables sur du bois lubréfié.

Dans un rapport rédigé par un comité de l'Institut de Franklin sur les frottements développés pendant le lancement des vaisseaux de guerre américains, le Karitan et le Princeton, on a démontré péremptoirement que le frottement, au départ de ces vaisseaux sur leurs cales en charpente, bien graissées, était de 1/3 tandis que le frottement pendant le mouvement était d'environ 1/30. M. Morin donne pour la première quantité la valeur 1/6 et, pour la deuxième 1/14 : c'est une différence qui dépasse 100 pour 100. — Si M. Morin avait été dans le vrai, ces navires n'auraient jamais pu être lancés, tandis qu'ils se sont avancés d'eux-mêmes lorsqu'on a eu scié leurs étais.

On estime que le Karitan pesait 1.200 tonneaux ; la pression sur le bois était de 1 kilogr. 73 par centim. carré. Le Princeton, pesant 577 tonnes, donnait une pression de 1 kilogr. 11 par centim. carré.

Ces conclusions de l'Institut de Franklin, malgré leur éloignement extraordinaire des résultats donnés par M. Morin, sont en accord complet avec les expériences citées par Rennie (transactions philosophiques, vol. cxix) ; on y voit, en effet, que le Salisbury, frégate de 58 canons, avec une pression de 3 kilogr. 10 par centim. carré, donnait un coefficient de 1/26.

Dans un cas analogue, Coulomb, employant de la graisse de porc pour corps lubréfiant, a trouvé pour coefficient de frottement 1/27, et 1/28 avec du suif.

Nous pouvons donc conclure que, dans le cas de corps durs sans matières lubréfiantes, et dans le cas de bois durs, avec les lubréfiants ordinaires, c'est-à-dire dans le cas de machines locomotives, et de navires de guerre sur leurs

cales, — les coefficients de M. Morin ne représentent pas les faits, et que, dans le premier cas, ils sont deux fois trop petits, et, dans le second, deux fois trop grands.

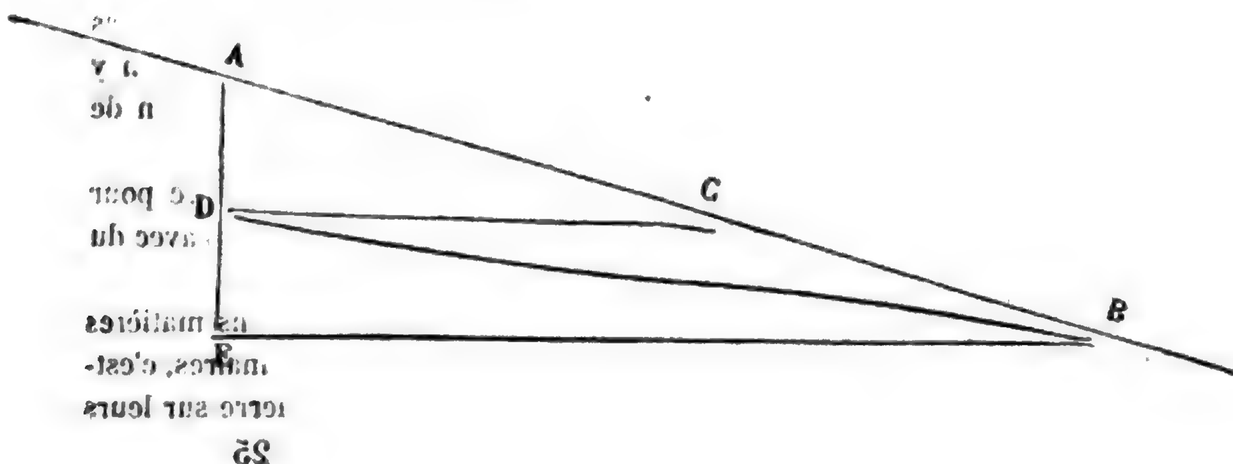
Il est vraisemblable que les difficultés extraordinaires rencontrées dans le lancement du Léviathan provenaient d'une estimation trop faible d'un frottement de surfaces de fer qui grippent : il n'est pas douteux que, dans ce cas, la valeur du coefficient dépassait 1/3, et que, si on a eu confiance dans nos ouvrages récents, on a admis la valeur de 1/6.— Cette différence est assez grande, en raison de la masse considérable que l'on avait à mouvoir, pour expliquer toutes les difficultés et toutes les dépenses de ce lancement célèbre, qui a exigé l'emploi de toutes les ressources de l'éminent ingénieur qui s'en chargeait.

Nous ne pouvons donc éviter de conclure que les lois du frottement aujourd'hui admises ne s'appliquent pas aux pressions considérables de la pratique, et que de nouvelles expériences sont nécessaires pour un grand nombre de problèmes d'application.

Si l'on venait à les entreprendre, l'auteur proposerait de se servir d'un long plan incliné, et de faire glisser des poids considérables, de manière à imiter ce qui se passe dans le lancement des navires, — alors, à l'aide de quelque combinaison mécanique du genre de celle de Joseph Santon, qu'a employée l'Institut de Franklin au lancement du Karitan et du Princeton, — on pourrait noter très exactement, sur une règle divisée, les espaces parcourus par seconde ; — on se servirait alors de la formule très simple qui suit pour déterminer le coefficient de frottement.

La note suivante, extraite du rapport du Comité sur les lancements que nous avons mentionnés plus haut, donne une formule très simple pour déterminer le frottement sur des plans inclinés ; elle donne également un moyen graphique de représenter le plan du *frottement en mouvement* et l'angle de rottement.

« Une autre méthode de considérer le frottement sur des plans inclinés a été proposée par un membre du comité. Il en résulte une formule différente decelle que nous avons employée.



Soit :

AC=S, Espace parcouru dans un temps t par un corps glissant sur le plan incliné.

AB=S', Espace que le corps aurait parcouru, en vertu de la formule $e=\frac{1}{2}gt^2\sin i$, si le frottement avait été nul.

ABE=i, Angle que fait le plan incliné avec l'horizon.

DBE=f, Angle de frottement dû au corps en mouvement.

AE étant la hauteur verticale dont le corps serait descendu dans le temps t, si le frottement n'existait pas, — AD étant la hauteur verticale dont le corps est descendu dans le temps t, il en résulte que DE représente le retard dû au frottement sur le plan incliné AB ; — DBE est l'angle du frottement du corps ; $\frac{DE}{EB}$= tang f est le coefficient particulier au corps expérimenté.

Connaissant le temps que le corps met à glisser d'une distance quelconque sur le plan, la formule pour trouver le coefficient de frottement sera

$$\text{tang } f=\frac{S'\ S}{S'}\text{tang } i$$

C'est la mesure de la résistance qu'éprouve le corps.

Par cette formule, l'angle de frottement du Karitan, pour la durée de 11 secondes pendant laquelle le corps a glissé de 18 mètres pour un angle de 3°46', est de 1°55' : la tangente naturelle de cet angle est de 0,0336 ; soit 1/30.

L'angle de frottement du Princeton, calculé de la même manière, pour une durée de 5,25 secondes employées à glisser de 5 m. 931 c., avec un angle de 4°25', est de 1°54'. Le coefficient de frottement sera exprimé par la valeur de la tangente naturelle de cet angle, valeur qui est un peu plus grande que 1/30.

La moyenne de ces résultats donne un angle de frottement de 1°54', ou un coefficient sensiblement égal à 1/30, pour le lancement de navires comme ceux dont nous parlons.

Il en résulte que l'on peut admettre que, pour les vaisseaux de guerre, l'angle de frottement est de 2°, et que l'inclinaison convenable des cales est de 4°. »

Les anciennes expériences sur le frottement, faites le siècle dernier par Coulomb, Vince et Ximènes, ont été trop légèrement mises de côté par les nouveaux expérimentateurs. — Elles n'en paraissent pas moins s'appliquer beaucoup mieux aux questions pratiques que les travaux plus étendus de MM. Rennie et Morin.

Nous croyons devoir faire suivre cette citation des observations suivantes :

M. Conybeare, dans son cours à l'Ecole Royale des Ingénieurs

à Chatham, a continué la thèse de M. Morris; il l'a appuyée sur des faits qui sont d'un grand intérêt, et d'ailleurs conformes à l'expérience générale; mais si ces faits ont conduit trop loin M. Morris dans les déductions qu'il en a tirées, il est probable qu'il résultera du travail de M. Conybeare une utilisation plus grande du poids servant à l'adhérence dans les machines locomotives, avec un accroissement correspondant de la surface de chauffe.

Sans aucun doute, les expérimentateurs sont exposés, dans la recherche des lois du frottement, à l'erreur dans l'interprétation des faits qui se produisent dans les expériences, et dans la généralisation, par les formules, des conditions souvent spéciales, dans lesquelles les expériences sont accomplies. Ces erreurs leur sont personnelles; mais celles dont ils ne sont pas responsables, c'est l'application des faits établis par leurs expériences et des lois qu'ils en ont déduites à un ordre de faits absolument différent. C'est cette erreur dans laquelle M. Morris semble être tombé.

M. Morris a rappelé que les expérimentateurs dont il critique les déductions avaient écarté avec soin, dans l'établissement des coefficients de frottement, les expériences dans lesquelles le grippage, c'est-à-dire l'altération des surfaces en contact, se produisait; il pouvait s'arrêter là, et écarter immédiatement, à son tour, dans l'étude de l'adhérence, les coefficients de frottement et les lois qui, dans les formules posées à la suite de ces expériences, déterminent la valeur relative des pressions et des surfaces dans le frottement des corps mis en mouvement et en contact continu.

Considérons la question sous ce point de vue :

Pour contester l'altération des surfaces en contact dans le frottement des roues motrices sur les rails, il faudrait nier l'usure considérable qui se produit aux bandages et aux rails.

Cette altération, l'œil peut la saisir.

Lorsque, dans l'obscurité, une machine patine, il se produit à l'instant, au point de contact du bandage et du rail, une température si élevée, qu'elle correspond à la combustion du fer, ainsi que l'indique le faisceau d'étincelles qui jaillit instantanément et la couleur blanche d'une vive incandescence qui se remarque au point de contact.

La différence entre ce phénomène et celui que produit l'adhérence d'une roue motrice en mouvement qui ne patine pas, c'est que les surfaces en contact, se renouvelant constamment, la chaleur produite par le frottement ne s'accumule pas, et qu'en conséquence la température ne s'élève pas au point de contact.

Il est permis de présumer que la grande résistance qu'ont offert les frottements du ber du Léviathan sur le plan incliné de lancement provenait à la fois de l'altération des surfaces de métal en contact et de l'élévation de température des barreaux du ber à leur point de contact continu avec ceux du plan incliné.

Si les lois du frottement, telles qu'elles ont été déterminées, ont été en général si peu utiles dans l'application, c'est qu'il est résulté de la double condition de la dureté relative des métaux en contact et de l'interposition des corps lubréfiants, que les lois de la matière, de sa résistance relative sous de certaines pressions, à de certaines températures, celles aussi de la décomposition des matières lubréfiantes, devenaient dans l'application les conditions principales à observer et que les formules non-seulement n'étaient d'aucun secours à cet égard, mais pouvaient même induire en erreur des esprits peu attentifs ou trop confiants.

Aussi a-t-on vu se produire très-généralement dans l'industrie le fait de l'augmentation des surfaces des tourillons, fusées, tiroirs, etc., en raison des pressions et des vitesses, tandis que les formules conduisaient à un résultat différent ou opposé.

L'expérience des effets des machines sur les rails présente des

faits d'un ordre très-général, qui indiquent qu'il n'y a aucune similitude et par conséquent aucune comparaison à établir, entre leurs résultats et ceux des expériences de MM. Rennie et Morin, et qu'il n'y a pas lieu d'y appliquer les coefficients et surtout les formules qu'ils en ont déduites.

L'adhérence altère les bandages et les rails ; elle en transforme le fer en poussière, en lamelles, en fibres qui se détachent. Donc la qualité des fers en contact doit avoir une influence sur l'adhérence : car de leur qualité dépend leur résistance à l'écrasement, et de celle-ci, leur altération sous des pressions différentes.

L'adhérence se modifie suivant les variations climatériques. Beaucoup de mécaniciens diminuent, au printemps, la charge sur les roues motrices et la reportent sur les roues de support ; d'autres découplent l'un des essieux des machines à six roues motrices. A l'automne, on fait l'opposé. Il y a même des exemples de réduction du poids des trains pendant l'hiver. Cela indique que le frottement qui constitue l'adhérence est influencé comme les autres par l'interposition des matières lubréfiantes, et que la neige, le givre, les feuilles mortes, la poussière marneuse que les pluies font jaillir sur les rails, fonctionnent comme des matières lubréfiantes.

M Conybeare cite des exemples qui ont une signification dont su tirer de conséquences utiles.

La charge des trains sur le Semmering, dont le sommet sur les Alpes Noriques n'est qu'à 698 mètres au-dessus du niveau de la mer, est basée sur un effort de traction qui n'est, il est vrai, que du huitième du poids porté par les roues motrices des machines ; mais l'insuffisance de la surface de chauffe est un des motifs de la réduction de l'effort de traction à attendre de ces machines.

La charge des trains est réglée, sur le chemin de Gênes à Turin, qui traverse l'Apennin à 450 mètres au-dessus de la mer, en comptant seulement le dixième du poids porté par les roues mo-

trices, comme limite de l'effort de traction. Mais les machines employées sur ce chemin ont une insuffisance de surface de chauffe plus grande encore que celles du Semmering.

La traversée des Alleghanys, par un des cols des montagnes Bleues à 575 mètres au-dessus de la mer, s'accomplit régulièrement avec une charge de train pour laquelle l'effort de traction est 1 15,56 du poids porté par les roues motrices des machines. M. Conybeare explique très-bien que la relation de la surface de chauffe avec le travail de ces machines est beaucoup plus favorable que dans les deux cas précédents, puisqu'elle correspond à une puissance de 7,55 chev. vap. par tonne de charge sur les roues motrices, tandis que pour le Semmering, on trouve seulement 5,2 chev. vap., et pour le Giovi, 3,2 chevaux par tonne de cette charge.

En France, la charge des trains de petite vitesse est généralement réglée sur un effort de traction égal au sixième du poids porté par les roues motrices, lorsque la surface de chauffe permet aux machines de maintenir cet effort sur les rampes à la fois les plus fortes et les plus longues du chemin.

En prenant pour base de comparaison du travail à attendre des machines locomotives dans la traversée des Alpes un effort de traction égal au sixième du poids porté par les roues motrices, nous nous sommes tenus dans les limites les plus généralement admises dans le système actuel de locomotion, et les observations précédentes tendent à prouver que dans ce cas l'évaluation de la puissance de traction pèche par défaut plutôt que par excès.

S'il y a à redouter quelque part l'influence sur l'adhérence de la neige, du givre et du froid, c'est assurément entre 500 et 2,000 mètres au-dessus de la mer.

Nous avons cru devoir cependant présenter l'opinion de MM. Conybeare et Morris, ainsi que les faits qui l'appuient, afin

qu'aucune donnée de la question ne fût, autant que possible, écartée dans la discussion.

Des expériences seront assurément utiles; mais il est bon de se mettre en garde contre tout désir de formuler des lois mécaniques d'après leurs résultats et d'en généraliser l'application. — Rien n'est plus limité que les résultats d'expériences de ce genre; ils ne sont utiles pour les applications que dans des conditions absolument identiques; il faut, en conséquence, leur laisser leur caractère de simples faits d'observation, les mettre au rang de simples procédés, loin d'en faire des découvertes, et bien plus loin encore d'en déduire des lois générales exprimées par des formules, où ne peuvent figurer les limites très-restreintes de leur application.

A ce point de vue, la discussion de M. Conybeare est du plus haut intérêt. Il a traité ce sujet en analyste et en observateur.

Note D

Observations sur les appareils et les procédés employés pour le percement du Mont-Cenis.

Des publications scientifiques et des écrits, ayant un caractère officiel, ont fait connaître les procédés qui seront employés pour percer le Mont Cenis.

D'après les prévisions des ingénieurs, ces procédés auraient pour résultat de réduire à six années la durée du travail qui, par les moyens ordinaires, serait de trente-six ans.

L'avancement de chacune des extrémités de la galerie, ouverte sur les deux versants, serait de trois mètres par jour, au lieu de 0^m45 à 0^m50.

Ces espérances sont basées sur la rapidité du travail des perforateurs inventés par MM. Sommeiller et Bartlett, et sur l'emploi

de l'air comprimé qui serait utilisé à la fois comme moteur des perforateurs et pour l'aérage, c'est-à-dire pour les besoins résultant de l'emploi de la poudre et de la respiration des ouvriers.

La Commission a discuté ces espérances, en admettant plusieurs des données des ingénieurs comme certaines, et les autres comme probables. Néanmoins son avis est plein de réserves.

Il ne faut pas s'en étonner : les inconnues abondent. Il en est sur lesquelles l'attention de la Commission n'a pas été portée.

La première est l'assainissement du souterrain ; un avancement de 3 mètres par vingt-quatre heures exigera le déblai à la mine de 120 mètres cubes de roche, ou bien de 165 mètres ou bien de 250 mètres, suivant que la section du souterrain sera la même que celle des souterrains ordinaires sans revêtement en maçonnerie, ou qu'il devra être revêtu, ou qu'il aura la dimension du souterrain de Blaisy. Cette dernière hypothèse était seule admissible, car on ne peut supposer à un souterrain de 12,700 mètres de longueur, sans puits, la section de 40 mètres, qui n'a été adoptée sans doute que dans l'intention de réduire à 98 kil. la quantité de poudre à employer en vingt-quatre heures au percement.

Soit néanmoins, malgré les graves éventualités qui s'attachent à une aussi faible section, et malgré la très-grande différence du chiffre de la consommation de la poudre avec les données ordinaires, le nombre des explosions pour trois mètres d'avancement, de sept en vingt-quatre heures, et pour chacune de 14 kilog. de poudre. Supposons le percement parvenu à la moitié de sa longueur sur chaque versant, soit à 3,000 mètres. Le nuage de fumée et de gaz délétères (1) dégagés par

(1) Acide carbonique, azote, sulfure de potassium, oxyde de carbone, acide sulphydrique, hydrogène, oxygène, sulfate et carbonate de potasse; sulfo-cyanure de potassium et vapeur d'eau.

l'explosion occupera un espace considérable de la petite galerie et un moindre espace dans la grande galerie. Or c'est le propre de tous les gaz de ne se mélanger que très-lentement avec l'air ambiant, à moins d'une grande agitation. Suivant la Commission, pour que le mélange soit complet, c'est-à-dire pour que l'air soit respirable, il faut que le volume des gaz provenant d'un kilog. de poudre se mêle dans 250 mètres cubes d'air; mais ce résultat est impossible à atteindre par les moyens indiqués : car l'agitation sera le courant d'air résultant de l'introduction de l'air comprimé à l'extrémité de la galerie, soit, pendant l'hiver, 1m135 par seconde et pendant l'été 1m632. Ce courant aura donc la vitesse suivante :

	Volume d'air lancé par seconde.	Section de la galerie.	Vitesse par seconde.
L'hiver :			
Dans la petite galerie,	1mc.135	6m, 25	0m.180
Dans la grande galerie,	1 135	36	0m.031
Et l'été :			
Dans la petite galerie,	1 622	6 25	0m.260
Dans la grande galerie,	1 622	36	0m.045

En prenant pour moyenne, dans la grande galerie, la vitesse de 4 centimètres par seconde, les gaz mettront 21 heures à en sortir, quand la profondeur ne sera que de 3,000 mètres. Pendant ce temps seront intervenus 9,100 mètres cubes de fumée et de gaz irrespirables, qui se seront à peine mélangés avec l'air de la galerie. En résumé, dans les prévisions de la Commission, chaque explosion de 14 kilog. de poudre rendra 1,400 mètres cubes d'air nuisibles, et, pour qu'ils soient respirables, il faudra encore que ces 1,400 mètres se mélangent à 2,100 autres mètres cubes d'air. La Commission a complètement perdu de vue que les gaz ne sont nullement pénétrables les uns par les autres sans une grande agitation; qu'ils sont régis par des conditions de densité, de température, qui rendent leur mélange tellement difficile que leur emploi comme combustibles, c'est-à-dire au moyen

du mélange d'air nécessaire à la combustion, est une des questions les plus délicates de la science appliquée à l'industrie.

L'air de la galerie ne sera donc que très faiblement mélangé avec les gaz dégagés par l'explosion de la poudre, et, en conséquence, on peut se demander si, à cet état, il sera respirable pour les ouvriers pendant les douze heures qu'ils séjourneront dans le souterrain. La Commission n'a pas remarqué que la combustion en 24 heures de 100 kilog. de poudre dans une galerie fermée par une extrémité était un fait tout à fait nouveau. Elle a peut-être compté qu'en donnant 250 mètres cubes d'air par kilog. de poudre, cela suffirait pour que le mélange du gaz dégagé avec cet air ne fût pas nuisible; elle se serait alors trompée. L'effet qu'il faut produire, c'est l'expulsion très rapide de ces gaz, car leur mélange avec l'air est très difficile. Le remède sera sans doute d'introduire dans la galerie une quantité d'air beaucoup plus considérable à une moindre pression pour obtenir une grande vitesse de courant; mais alors le moteur hydraulique deviendra insuffisant, s'il doit servir à comprimer l'air à six atmosphères pour le travail des perforateurs, et à deux atmosphères pour l'assainissement de la galerie. Dans ce dernier cas encore, les vitesses de courant d'air seraient si faibles qu'il est difficile d'affirmer que le but serait atteint. Le moteur hydraulique devra, en définitive, céder la place aux machines à vapeur.

Ainsi, sur le premier des deux procédés, sur le plus important, sur celui qui sert de base à toutes les prévisions d'achèvement rapide, à savoir, l'aérage suffisant pour assainir l'air de la galerie, il reste une éventualité d'insuffisance des moyens.

Le second des deux procédés suprêmes, celui de la rapidité du forage des trous de mine au moyen des perforateurs, est exposé à des objections analogues.

La Commission a constaté que le travail d'un perforateur était douze fois plus rapide que celui de l'ouvrier.

L'analyse des observations même de la Commission ne conduit cependant pas à ce résultat.

Les opérations du mineur consistent :

A choisir le point où le forage doit être fait;

A installer le travail;

A forer les trous de mine;

A les nettoyer;

A les bourrer;

A allumer la mine;

A s'éloigner du lieu de l'explosion;

A attendre le dégagement des gaz;

A revenir au lieu de l'explosion;

A enlever les débris qui empêcheraient la reprise du travail;

A faire la place pour de nouveaux trous.

De toutes ces opérations, la Commission en a suivi une seule : le forage, et encore n'a-t-elle examiné que le travail d'un perforateur à la fois.

Cependant, le travail de perforation se composera, dans la petite galerie, de l'approche, au moyen d'un chemin de fer, d'un chariot portant dix-sept perforateurs, qui seront installés l'un après l'autre par deux hommes. Dix de ces perforateurs feront chacun trois trous, ou trente trous en ligne droite propres à régler le sol de la galerie, mais ne servant pas autrement à détacher la masse; et les sept autres en feront aussi chacun trois, c'est-à-dire 21 trous, destinés à être chargés et à détacher la roche.

La durée du travail n'est plus ici dans le rapport de 1 à 12 : c'est le perforateur qui travaille le plus lentement, celui qui s'arrête, celui dont le ciseau se brise ou s'engage, celui qui est le dernier installé, qui règle la durée du travail. Le rapport de 1 à 12 se modifie du tiers, de moitié, peut-être davantage.

Mais c'est bien pis encore lorsque le forage est achevé; ici, la proportion est renversée : elle est toute en faveur des

moyens ordinaires. Deux hommes doivent nettoyer vingt-et-un trous, les mêmes deux hommes doivent en faire le bourrage. Dans le travail ordinaire, chaque ouvrier nettoie et bourre le trou qu'il a foré. Puis, il faut dégager le moteur des perforateurs, éloigner le chariot à une distance assez considérable ; attendre, pour le rapprocher, que le nuage de fumée et de gaz provenant d'une explosion très forte soit écarté, que les plus gros débris soient enlevés. On aura compté que 21 trous, enlevant chacun 0m150 cubes, les 6m25 de la section de la galerie seront obtenus complètement; mais comme 0m150 est un maximum dans la roche dure, il restera des saillies qui empêcheront l'approche du chariot portant les perforateurs, et qu'il faudra abattre préalablement. En éloignant le chariot, il faudra aussi éloigner le conduit d'air, pour qu'il ne soit pas exposé aux débris de l'explosion. L'enlèvement de ces débris doit se faire, pour les plus gros blocs et pour ceux qui encombreront la voie, avant l'approche du chariot, le reste pendant le travail de perforation à travers les vides que présentera la base du charriot.

Ainsi, la rapidité du travail du forage, démontrée par l'emploi d'un seul instrument, est compromise par l'emploi simultané de dix-sept de ces appareils par deux hommes; elle est plus que compensée par la lenteur des autres manœuvres, celles de nettoyage, bourrage des trous, approche et mise en train de l'appareil, retard d'une partie d'entre eux, enlèvement des débris, etc.

On voit qu'avant d'affirmer la supériorité des moyens nouveaux sur les moyens ordinaires, il y a lieu de discuter toutes ces éventualités une à une, car il semble résulter de ce qui précède que les manœuvres autres que le forage seront plus longues avec l'emploi du perforateur qu'avec celui des moyens ordinaires.

Il faut donc attendre l'expérience, c'est-à-dire un temps bien long, des risques d'éventualité bien nombreux et bien con-

sidérables avant de rien préjuger sur l'époque d'achèvement du souterrain; jusque-là, c'est sur l'emploi des moyens ordinaires qu'il faut compter, si l'on persiste à passer les Alpes par de longs souterrains.

NOTE E.

Description des appareils ayant pour but d'utiliser à la traction l'adhérence du poids porté par les roues du train.

Nous supposons nos lecteurs instruits des dispositions de construction du matériel suisse. Elles seraient conservées.

Générateur. — Le générateur, porté sur deux trucs ou bogies de la forme de ceux employés dans le matériel suisse, pourra peser quarante tonnes au maximum, soit cinq tonnes par roue.

Chaque truc pèsera, avec son mécanisme de cylindres et freins, entre 4,500 et 6,000 kilogr. Le générateur avec ses accessoires, et avec l'eau et le coke, pourra peser, dans ce cas, 28 à 30 tonnes. Ce sont là des maxima.

Les dimensions du générateur seront fixées d'après les règles suivantes : timbré à 7. 5 atmosphères, il devra fournir la vapeur à raison de 30 kilog. par mètre carré de surface de chauffe à la pression effective de 5 atmosphères et à la densité correspondante à cette pression, à tel nombre de cylindres que, d'après la nature du trafic, l'ingénieur croira devoir fixer par le nombre même des véhicules dont il voudra au besoin composer les trains. La dimension de ces cylindres sera réglée de telle sorte que l'effort tangentiel à la jante soit de 30 kilogrammes par atmosphère effective et par tonne du poids maximum que pourront porter les roues des véhicules en charge

L'ingénieur, ayant donc arrêté d'abord l'importance à donner aux trains de voyageurs et aux trains de marchandises, déterminera, en appliquant les règles ci-dessus, les dimensions du générateur et son poids.

La limite de 28 à 30 tonnes, et la grande longueur disponible résultant de l'emploi des trucs ou bogies pour supports du générateur, permettant de porter la surface de chauffe à 500 mètres carrés au moins, on pourra employer des générateurs de poids très-différents, suivant la composition réglementaire des trains.

L'espace permettra d'appliquer, suivant les dispositions adoptées par l'ingénieur, soit les grandes surfaces et le grand volume du foyer, soit les tubes à grand diamètre très-espacés, soit la grande multiplicité de tubes rapprochés. Le manque d'espace ne sera désormais plus une difficulté pour appliquer à la production de la vapeur les diverses théories sur la combustion et la transmission de la chaleur à travers les surfaces métalliques, qui divisent les ingénieurs comme les savants.

Le générateur sera muni de deux petites machines ordinaires d'alimentation.

Trucs ou bogies. — Si les essieux des trucs sont fixes, le bâtis qui portera les cylindres sera assemblé avec eux. Si les roues sont fixes sur les essieux, ceux-ci ne porteront qu'une roue, et il y en aura quatre par truc; ils seront distants les uns des autres, et par paire, de 0,15, soit verticalement, soit horizontalement. Dans le premier cas, le diamètre des roues rachètera l'inégalité de hauteur des essieux. Les essieux seront espacés de 1m,10 (1). Les cylindres seront nécessairement extérieurs, puisqu'ils agiront sur des roues indépendantes. Les roues seront pleines et en fer forgé, leur diamètre sera d'un mètre, les bandages en acier. Les cylindres seront en fer forgé, les tiges et bielles en acier. Il ne sera pas employé de fonte dans le mécanisme ou le châssis.

Conduit de vapeur et d'échappement. — Le conduit de vapeur et d'échappement se composera, dans toutes les parties rigides, de deux tubes concentriques en fer forgé : l'intérieur servant pour la conduite de la vapeur, et l'extérieur pour l'échappement.

Ce double tube sera rigide entre les deux trucs de chaque véhicule, et porté par deux points de suspension placés chacun au centre de chaque truc, sous la cheville ouvrière. Il y aura un joint à dilatation entre les deux trucs.

Le joint tournant employé à la prise de vapeur et au conduit d'échappement dans les machines à cylindres oscillants sera appliqué à la jonction des deux tubes de vapeur et d'échappement avec les cylindres.

Au point d'attache entre deux véhicules, le conduit de vapeur et celui d'échappement se sépareront ; ils affecteront la forme d'un demi-cercle, avec deux parties droites à l'emmanchement.

La flexibilité du conduit de vapeur sera obtenue, en ce point, au moyen d'un premier fourreau en caoutchouc vulcanisé à 400 degrés, semblable à celui employé aujourd'hui à la communication des machines avec le tender, et recouvert d'un étui composé de plusieurs enveloppes, dans la composition desquelles entreront des aciers feuillards en mailles, ou en torons, de manière à prévenir l'extensibilité.

Ce sont les branches de ce demi-cercle qui, pouvant s'ouvrir et se refermer sans déformer l'enveloppe, permettront la flexibilité nécessaire pour les courbes et les différences de niveau de la voie. Ces deux branches s'ouvriront et se fermeront sans que ce mouvement modifie sensiblement leur forme, et sans nuire à la résistance du conduit, qui sera éprouvé pour 20 à 25 atmosphères.

Le conduit d'échappement n'aura que trois enveloppes, au lieu de cinq.

(1) Nous recevons, trop tard pour avoir pu les faire entrer dans le texte du *Mémoire*, les renseignements suivants, de M. Delannoy, ingénieur du chemin de fer de Sceaux.

« L'écartement d'axe en axe des essieux rigides montés sur les wagons du chemin de fer de Sceaux varie entre 2m.90 et 2m.50. L'écartement d'axe en axe des essieux convergents est pour tous les wagons de 2m.90. »

« On peut voir tous les jours, au chemin de fer de Sceaux, les wagons du chemin d'Orsay à essieux fixes, écartés de 2m.90, montés sur roues libres, passant avec facilité dans les courbes de 24 mètres de rayon, à la vitesse de 25 kilomètres à l'heure. »

Les emmanchements des parties courbes et flexibles des tubes se feront par des raccords à vis à pas triangulaires, serrant sur des bagues en caoutchouc vulcanisé ou en cuivre rouge.

Le conduit de vapeur sera préservé du froid, dans les parties rigides, par l'espace annulaire du conduit d'échappement. Celui-ci sera enveloppé de feutre et placé dans une caisse en tôle légère. Il en sera de même du mécanisme des châssis, et de tous les appareils pouvant craindre le froid.

Deux mécaniciens seront placés à chaque wagon pour faire le service, pour surveiller le mécanisme, faire agir les freins, régler les admissions de vapeur, graisser, etc.

Ces dispositions ne changent, comme on le voit, rien aux conditions générales de construction du matériel suisse. Néanmoins les voitures et wagons pourront être allongés pour compenser l'accroissement de poids donné aux trucs ou bogies par l'addition du mécanisme moteur, et permettre à ce matériel de conserver le rapport actuel entre le poids brut et le poids utile, soit en voyageurs, soit en marchandises.

En somme, l'appareil offre une grande simplicité. Les trucs ou bogies seront des machines infiniment moins compliquées que la plus simple des locomobiles, puisqu'ils n'auront ni foyer, ni chaudière, ni pompes. Le conduit de vapeur n'a qu'un point flexible : c'est l'attache, qui n'éprouve aucune fatigue. Sa construction, dans les autres parties, est des plus simples, c'est celle qui est usitée dans les machines de navigation à cylindres oscillants.

Il est inutile d'indiquer les dispositions de détail à l'aide desquelles les parties en frottement seront préservées du froid. Elles n'offrent aucune difficulté.

Note F.

Sur le passage du Simplon.

Le passage du Simplon, de Brieg à Domo d'Ossola, s'effectue par une route de 63,900 mètres, large de 8 mètres (1), bordée de fossés d'écoulement en général perréyés ; les deux arêtes de la route sont garnies de très-fortes tablettes en pierre de taille, d'où saillissent, à des distances variables de 4 à 10 mètres, des bornes faisant ffonction de garde-corps pour les voitures. Cette route est bien empierrée et bien entretenue.

(1) *Achez*, route du Simplon. D'après M. Cordier, inspecteur général des mines, ce serait 70,617 mètres.

De Brieg au sommet du col, la hauteur franchie par la route est de. 1,304,m

La distance en ligne droite, à vol d'oiseau, est de. 10,490,

La route a une longueur de 22,500,

Sa pente moyenne est 1,304/22,500. . . 0,m,058

Mais on peut inférer de l'existence des contre pentes ou des parties de niveau, qu'en certain point la pente de la route s'élève jusqu'à 75 ou 80 millimètres (1).

De Domo d'Ossola au sommet du col, la hauteur franchie par la route est de 1,707,

La distance en ligne droite, à vol d'oiseau, est de. 29,980,

La route a une longueur de . . . . (2). 41,400,

Sa pente moyenne est donc de 1,707m./41,400m. 0,m,041

Il est plus exact de retrancher la distance de 3,600m. de Domo d'Ossola au pont de Crevola, dans la vallée de la Toccia, qui ne rachète qu'une hauteur de 63 mètres, on a alors pour la pente moyenne 1,644m/37,800m. . . 0m,0435

Sur le versant du Midi, comme sur celui du Nord, la pente est variable ; elle est sur divers points du passage de Gondo de 80 millimètres.

Sur le versant du Nord, le tracé cherche d'abord son développement sur les contreforts de la vallée de la Saltine, se jette à gauche sur ceux de la vallée du Gauther qu'il contourne, en traversant le torrent pour retrouver les contreforts de la Saltine et s'y

(1) Le profil publié par M. Cordier confirme cette indication.

(2) D'après M. Cordier, 48,321 mètres.

élever jusqu'au pied des glaciers de Kaltewaser et de Tavernette.

Jusque là, le tracé, placé à mi-côte du ravin, effleure en général les éboulements de roches mêlés de terre descendus des parties élevées de la montagne. Le talus du côté de la montagne est maintenu soit par des perrés, soit par des murs de soutènement en pierre sèche dont la hauteur moyenne ne dépasse pas 2 mètres. L'arête extérieure de la route est portée tantôt sur e remblai obtenu par l'excavation dans le versant, tantôt sur l'ancien sol, tantôt enfin, mais rarement, sur des murs de soutènement. Le nombre des points où la route a été prise dans le roc vif est limité. Il est facile de reconnaitre qu'en aucun endroit les cônes d'éboulements sur lesquels la route est établie n'ont cédé.

Le tracé affecte de très-nombreuses courbes, mais en général leur rayon est beaucoup plus grand que sur aucune route traversant les Alpes dans les mêmes conditions, il n'en est qu'un très-petit nombre dont le rayon soit de beaucoup inférieur à 20 mètres.

L'écoulement des eaux est fort bien aménagé; ce n'est qu'en trois points seulement que des eaux torrentielles traversent la route à niveau; on ne s'explique cet oubli que par le peu d'importance des dégâts à redouter.

Le tracé est exposé aux avalanches surtout dans le contour qu'il affecte au pied des glaciers, dont les eaux forment la principale source de la Saltine. Cependant la route n'en a pas souffert.

Les travaux d'art sont peu nombreux et de faibles dimensions quant aux obstacles naturels qui les ont motivés. On conçoit cependant les descriptions exagérées qui en ont été faites en comparant les ressources du pays avec les moyens d'exécution, et en voyant l'importance des résultats obtenus à travers des sites dont la grandeur sauvage et terrible impressionne l'esprit par sa solennité.

Le col est un plateau qui n'a offert au tracé aucune difficulté.

Sur le versant du midi la route descend par la vallée du Krumback, qui est spacieuse et peu accidentée jusqu'au delà du village du Simplon. C'est d'Algaby à Varzo sur 8 kilomètres environ que se concentrent toutes les difficultés. La vallée devient un ravin profond, étroit et abrupte, la route y dispute sa place au torrent, au roc vif, à des éboulements de rochers d'une énorme dimension. Son arête extérieure qui borde le ravin est maintenue par un mur de soutènement défendu lui même en quelques endroits par des épis. A part les difficultés exceptionnelles de cette partie du tracé, les circonstances générales de l'établissement de la route comme profil, courbes, travaux de terrassement et ouvrages d'art, ne nous laissent rien à ajouter à ce que nous avons dit à cet égard du versant du nord.

La route du Simplon est une œuvre digne d'admiration. En remontant à l'époque où elle a été construite et aux moyens que l'art mettait alors à la disposition des ingénieurs, on peut la considérer comme un des plus beaux ouvrages du commencement de ce siècle. Cependant pour des causes que nous ignorons, soit que les accès par le lac de Genève et la vallée du Rhône soient peu engageants, soit que les aspects formidables de quelques points particulièrement exposés aux avalanches fassent redouter ce passage, toujours est-il que, comparativement au Saint-Gothard, il semble délaissé.

La route du Saint-Gothard beaucoup moins large, moins bien entretenue, à pentes plus fortes et plus variables, à courbes plus multipliées et de plus faible rayon, est incessamment parcourue la nuit et le jour par des services de poste et de messageries par des camions en poste et accéllérés, par de forts chariots de roulage, des voitures de voyageurs; la route du Simplon est déserte; il y a un seul service régulier de messagerie et de poste qui ne s'y accomplit que le jour.

Cependant le passage du Simplon a une célébrité européenne;

les tracés de chemin de fer qui vont y aboutir sont nombreux et établis dans de larges conditions; les contrées qu'il dessert sont des plus riches, et celles où la civilisation est la plus avancée ; de grands intérêts s'attachent donc à une solution. L'étude que nous venons de faire nous convainct que l'œuvre qui est aujourd'hui si largement accomplie ne peut pas être perdue pour l'avenir et qu'il doit au contraire lui apporter un aide puissant, prompt et efficace.

NEUILLY, — Typographie de Guiraudet, place de la Mairie, 2.

MÉMOIRES

ET

COMPTE-RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(OCTOBRE, NOVEMBRE ET DÉCEMBRE 1859)

N° 8

Pendant ce trimestre, on a traité les questions suivantes :

1° Note nécrologique sur M. Camille Polonceau, par M. Perdonnet. (Voir le résumé de la séance du 21 octobre, page 405.)

2° Note nécrologique sur M. Isambard Brunel, par M. Eugène Flachat. (Voir le résumé de la séance du 21 octobre, page 410.)

3° Note sur le curage et l'entretien des cours d'eau industriels qui ne sont ni navigables ni flottables. (Voir le résumé de la séance du 21 octobre, page 415, et le mémoire, page 437.)

4° Note sur des tableaux donnant par simple addition la résistance des poutres en forme de double T, par M. Tronquoy Camille. (Voir le résumé de la séance du 21 octobre, page 416.)

5° Solution de la question des chemins de fer, par M. Poujard'hieu. (Voir le résumé de la séance du 21 octobre, page 417.)

6° Notice sur Saint-Nazaire. (Voir le résumé de la séance du 4 novembre, page 417.)

7° Notice nécrologique sur Robert Stephenson, par M. Eugène Flachat. (Voir le résumé de la séance du 4 novembre, page 418.)

8° Croisement de voie appliqué en Belgique, par M. Goschler. (Voir le résumé de la séance du 4 novembre, page 423.)

9° Injecteur de M. Giffard. (Voir le résumé des séances du 4 novembre et du 2 décembre, pages 424 et 433.)

10° Appareil propulseur de M. Hervier. (Voir le résumé le la séance du 4 novembre, page 425.)

11° Eaux publiques et potables de la ville de Naples. (Voir le résumé de la séance du 18 novembre, page 426.)

12° Compte-rendu de l'exposition de Rouen, par M. Alcan. (Voir le résumé de la séance du 18 novembre, page 429.)

13° Eboulement des falaises de la Manche, par M. de Dion. (Voir le résumé de la séance du 2 décembre, page 433, et la note au bulletin, page 500.)

14° Observations théoriques et pratiques sur l'injecteur alimentaire de M. Giffard, par M. Ermel. (Voir le résumé de la séance du 2 décembre, page 433.)

15° Situation financière de la Société. (Voir le résumé de la séance du 16 décembre, page 435.)

16° Elections des membres du bureau et du comité pour l'année 1860. (Voir le résumé de la séance du 16 décembre, page 435.)

BUREAU

Président : M. Vuigner (Emile), O. ✻.

Vice-Présidents :	*Secrétaires :*
MM.	MM.
Flachat (Eugène), O. ✻ ✻.	Peligot (Henri).
Forquenot.	Guillaume.
Petiet (Jules), O. ✻ ✻ ✻ ✻	Yvert (Léon).
Laurens, ✻.	Tronquoy (Camille),

Trésorier : M. LOUSTAU (Gustave) ✻.

Membres du Comité.

MM.

DEGOUSÉE ✻.
FAURE (A.). ✻
ALCAN (Michel) ✻.
CALLON (Ch.) ✻.
SALVETAT ✻.
THOMAS (Léonce) ✻.
ARSON.
CHOBRZY SKI ✻.
LAURENT (Charles).
BERGERON.

MM.

ALQUIÉ.
MATHIAS (Félix) ✻ ✻ ✠ ✻.
YVON-VILLARCEAU ✻ ✻.
BARRAULT (Alexis) ✻.
MATHIEU (Henri).
TRÉLAT (E.) ✻.
NOZO (Alfred) ✻ ✠.
HOUEL ✻.
MOLINOS (Léon).
LOVE.

Président honoraire : M. PERDONNET (A.) O. ✻.

Pendant ce trimestre, la Société a reçu :

1° De M. Edmond Roy, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure intitulée : Alimentation des Eaux de Paris;

2° De M. Poujard'hieu, un exemplaire de sa brochure intitulée : Solution de la question des chemins de fer;

3° De M. Marie, un exemplaire de sa brochure intitulée : De la suppression du canal St-Martin et de l'établissement des entrepôts libres;

4° Les nos 5, 6 et 7 de la *Revue des ingénieurs autrichiens;*

5° De M. Oppermann, les nos d'octobre, novembre et décembre 1859, des *Nouvelles Annales de la construction et du portefeuille économique des machines;*

6° Les nos d'octobre, novembre et décembre 1859, du journal *The Engineer;*

7° De M. Desbrière, membre de la Société, une note sur la fabrication des rails en Angleterre;

8° Les nos de septembre, octobre et novembre 1859, des *Annales forestières et métallurgiques;*

9° De M. Eugène Flachat, membre de la Société, deux notices Nécrologiques sur MM. Brunel et Robert Stephenson;

10° De M. Perdonnet, membre de la Société, une notice nécrologique sur M. Camille Polonceau;

11° De M. Desnos, membre de la Société, les nos d'octobre, novembre et décembre 1859, du journal *l'Invention;*

12° De la Société des Anciens Elèves des écoles Impériales d'Arts et Métiers, un exemplaire de son *Annuaire pour l'année* 1859;

13° De M. Frédéric Coninck, un exemplaire de sa brochure sur les Nouvelles considérations du percement de l'Isthme de Suez;

14° De la Société d'Agriculture, des Sciences, Arts et Belles-Lettres du département de l'Aube, un exemplaire de son bulletin du Ier trimestre 1859;

15° De la Société Impériale et Centrale d'agriculture, un exemplaire de ses derniers bulletins;

16° Les nos de mai et juin 1859 des *Annales des Ponts et Chaussées;*

17° Les nos de septembre, octobre et novembre 1859, des *Annales des conducteurs des Ponts et Chaussées;*

18° Le n° des 1re et 2e livraisons de 1859 des *Annales des Mines;*

19° De M. Noblet, éditeur, les nos d'août et septembre 1859 de la *Revue universelle des Mines, de la Métallurgie, des Travaux publics, des Sciences et des Arts;*

20° Un exemplaire d'une notice sur Saint-Nazaire;

21° De la Société d'Encouragement, un exemplaire de son bulletin des mois d'août, septembre et octobre 1859.

22° De M. Boudard aîné, une note sur le Curage et l'entretien des cours d'eau industriels qui ne sont ni navigables ni flottables.

23° De M. Mallet-Bachelier, éditeur, un exemplaire du Vade-Mecum administratif de l'entrepreneur des Ponts-et-Chaussées, par M. Endres;

24° De M. Georges Scott's, un exemplaire d'une brochure sur un nouveau système de générateur;

25° De la Société de l'Industrie minérale de Saint-Etienne, un exemplaire de son bulletin du 2° trimestre 1859;

26° De M. Jousselin, membre de la Société, un exemplaire d sa brochure sur son projet d'une ligne télégraphique continentale entre la France et les Etats-Unis par l'Europe et l'Asie;

27° De M. Ebray, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure intitulée : Études géologiques sur le département de la Nièvre;

28° De M. César Daly, les n°s 3 et 4 de 1859, de la *Revue générale d'architecture et des travaux publics;*

29° De M. Frédéric Thomas, une collection de plans relatifs aux gares et au matériel du chemin de fer de Cramaux;

30° De M. Love, membre de la Société, un mémoire sur la loi de la résistance des tubes à fumée à l'intérieur des chaudières à vapeur;

31° De M. Armengaud jeune, membre de la Société, une note sur le propulseur de MM. Meunier et Ce;

32° De M. Legé, un exemplaire de sa Notice sur ses procédés pour la conservation des bois.

Les membres nouvellement admis sont les suivants :

Au mois de novembre,

MM. LAFON, présenté par MM. DE DION, MAIRE et PIQUET.
LEMONNIER, — — FAURE, LOUSTAU et CALLON.
DEMEULE, — — FAURE, ALCAN et PELIGOT.
FALLENSTEIN, — — FAURE, THOMAS et YVON VILLARCEAU.
COURNERIE, — — FAURE, MULLER et BOUILLON.
DESPRES, — — FAURE, GUILLAUME et JOUSSELIN.

Au mois de décembre.

MM. MALLET, présenté par MM. FAURE, CALLON et NEPVEU.
SULRBERGER, — — FAURE, ALCAN et LIMET.
PAUL, — — FAURE, MULLER et COIGNET.

RÉSUMÉ DES PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

PENDANT LE 4e TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1859

SÉANCE DU 21 OCTOBRE 1859.

Présidence de M. Faure.

M. le Président rappelle la perte cruelle que la Société a faite récemment dans la personne de *M. Camille Polonceau.* Polonceau était l'une de nos têtes, dit-il, l'une de nos gloires; tous, ceux qui étaient près, ceux qui, comme moi, étaient loin, nous avons ressenti une émotion profonde quand nous avons appris cette cruauté soudaine de la mort venant frapper inopinément, alors qu'il était dans la force de la vie, de l'intelligence, occupant une position si élevée et si noblement conquise, l'ingénieur éminent, l'administrateur profondément habile, prodigieusement actif, l'homme au cœur bon et élevé que nous avons tous connu, aimé, honoré, que nos suffrages avaient appelé à ce fauteuil, qu'il a dignement occupé pendant 1856.

Notre Président honoraire, M. Aug. Perdonnet, a rédigé une notice biographique sur M. C. Polonceau, dont il était devenu l'ami après avoir été son premier soutien, son guide paternel, après lui avoir ouvert les portes de cette carrière que Polonceau a su fournir si brillante, si belle et si éminemment utile.

Ceux qui ont eu le triste bonheur de pouvoir se presser au milieu de la foule immense qui marchait derrière les restes d'un homme à jamais regrettable et dont le nom sera pour nous un symbole, de même que sa vie et sa carrière seront un noble et pieux exemple, ceux-là m'ont raconté comment les larmes avaient interrompu les paroles que M. Perdonnet a prononcées devant la tombe de Polonceau. Vous écouterez donc avec bonheur la notice que notre Président honoraire a bien voulu m'autoriser à lire devant vous.

Camille POLONCEAU.

Les ingénieurs, dans notre siècle industriel, jouent un rôle important. On les trouve aujourd'hui dans toutes les grandes compagnies, non-seulement comme directeurs de la partie technique, mais encore comme chefs de la partie administrative.

Parmi ceux qui ont été attachés aux compagnies de chemins de fer, Camille Polonceau, successivement directeur général des chemins de fer d'Alsace, et ingénieur en chef, régisseur de la traction au chemin de fer d'Orléans, qui vient d'être frappé au milieu de sa carrière par une mort prématurée, figure en première ligne. En retraçant les principales phases de sa trop courte existence, je veux en même temps faire mieux connaître aux nombreux employés et ouvriers de la compagnie du chemin de fer d'Orléans et de l'ancienne compagnie des chemins de fer d'Alsace l'homme qui est l'objet de leurs regrets unanimes, et apprendre aux jeunes ingénieurs ce que peut, dans leur profession, la capacité réunie au travail et à un noble cœur.

Polonceau a été mon élève, mon ami. Sa perte imprévue a été pour moi très-douloureuse. Lorsque la réalité nous échappe, on cherche quelques consolations dans les souvenirs; j'espère en trouver dans ceux d'une vie souvent mêlée à la mienne.

Camille Polonceau était le fils de M. Antoine Remi Polonceau, inspecteur général des ponts et chaussées, l'une des gloires de son corps. Entré, en 1833, à l'École centrale, il s'y montra supérieur comme il le fut toujours plus tard. Ses trois années d'études accomplies, il en sortit *hors ligne*. Il me souvient encore de l'étonnement, j'ai presque dit de l'admiration de ses professeurs, trouvant dans son projet de concours l'œuvre sans défaut non d'un débutant, mais d'un ingénieur expérimenté. Le génie, chez lui, avait suppléé à la pratique.

Polonceau, tout jeune qu'il était, avait compris l'avenir des chemins de fer. Je venais d'être nommé l'un des ingénieurs en chef du chemin de fer de Versailles (rive gauche). Il me demanda de travailler sous mes ordres. Je fus heureux de trouver un pareil auxiliaire, et je lui accordai d'emblée un traitement supérieur à celui qu'obtiennent généralement les jeunes gens qui ont à peine terminé leurs études. Polonceau justifia ma confiance.

On débutait alors dans l'industrie des voies ferrées; ingénieurs, entrepreneurs, fabricants, tous étaient ignorants, et le maître n'en savait guère plus que l'élève.

M. Payen, mon collègue, et moi, nous nous étions partagé le travail. J'avais à m'occuper plus particulièrement du matériel fixe et roulant, et de certains travaux de terrassements exécutés à l'aide de chemins de fer provisoires.

Polonceau étudia d'abord sous notre direction le tracé et les projets de matériel, puis il conduisit les travaux de la grande tranchée de Clamart.

La difficulté n'était pas seulement de faire, c'était de faire avec peu d'argent, car la Compagnie du chemin de fer de Versailles (rive gauche), écrasée par les exigences de l'administration supérieure en ce qui concernait le tracé, avait bientôt épuisé la presque totalité de son capital. Polonceau avait un esprit éminemment fertile; il nous fut de la plus grande utilité. C'est à son initiative que nous dûmes le matériel le plus léger qui ait jamais été construit pour un chemin de fer, matériel dont le public aujourd'hui ne se contenterait plus, mais qui alors atteignait parfaitement notre but.

La rotonde de locomotives qui, à plusieurs égards, a servi de modèle

aux remises du même genre établies depuis lors en France, a aussi été étudiée par Polonceau; c'est également à cette époque qu'il inventa, pour les halles rectangulaires, un nouveau système de combles avec arbalétriers en bois ou fer et tirants en fer, dont il envoya un modèle à l'exposition de 1837. Ce système est aujourd'hui l'un des plus répandus en France et à l'étranger. Il réunit la simplicité à la solidité, et permet d'établir à peu de frais des charpentes d'une très-grande portée. Il a été employé dans plusieurs de nos grandes gares; M. Flachat, au chemin de l'Ouest, en a fait usage pour l'établissement d'un magnifique comble de 40 mètres de portée. Ce genre de charpente en bois et fer ayant été exposé en 1855, le rapporteur du jury en fit le plus grand éloge, et déclara qu'il eût proposé à la commission de décerner une récompense d'un ordre élevé à M Polonceau, si le règlement ne l'eût mis hors de concours comme membre lui-même de ce jury.

A la tranchée de Clamart, Polonceau nous fut d'un grand secours : nous faisions l'essai, dans cette tranchée, d'une organisation de chantiers toute nouvelle; plusieurs plans inclinés automoteurs servaient à transporter les déblais, avec une grande rapidité, d'un étage à un autre. Ces appareils se dérangeaient souvent : les cordes, les poulies, se cassaient; les wagons déraillaient, les échaffauds se rompaient sous le poids des wagons, et cinq cents ouvriers étaient exposés à rester des heures entières inactifs. Polonceau avait remède à tout; le mal, qui paraissait presque irréparable, était réparé en peu d'instants. Polonceau, à cette époque déjà, dominait les employés, les ouvriers, par son talent autant que par son caractère.

Les travaux ayant été suspendus pendant quelques mois, nous en profitâmes, Polonceau et moi, pour faire un voyage en Angleterre. Nous visitions les fabriques comme il est permis généralement de les visiter, c'est-à-dire en traversant les ateliers *au pas de course;* mais Polonceau saisissait tout ce qu'il y avait d'intéressant avec une rapidité de coup d'œil incroyable, et j'étais émerveillé en le voyant, au sortir de l'atelier, faire un croquis complet de machines que j'avais à peine entrevues.

Le chemin de fer de Versailles terminé, je me retirai, et le conseil confia la direction de l'exploitation à notre jeune collaborateur.

Il remplissait ces nouvelles fonctions depuis un an environ, lorsque les administrateurs du chemin de Versailles (rive gauche) signèrent un traité de fusion avec ceux du chemin de la rive droite. Au même moment, la Compagnie des chemins de fer d'Alsace était en quête d'un directeur. La consommation de combustible sur ce chemin était effrayante, et, le combustible étant fort cher, devenait une lourde charge pour la compagnie. On tenait donc beaucoup à avoir pour directeur un ingénieur qui réduisît cette consommation. Consulté par le président du conseil, je recommandai Polonceau. Il fut nommé à ce poste élevé, malgré sa grande jeunesse.

Le début de notre ami au chemin de Bâle à Strasbourg fut brillant. Les locomotives, si ma mémoire est fidèle, brûlaient alors sur ce chemin seize kilogrammes de coke par kilomètre parcouru; la première année, cette consommation fut réduite à douze kilogrammes; puis, les années suivantes,

elle le fut successivement à 10, à 8, et enfin à 5, avec des trains à la vérité très-légers. De 16 à 5, la différence était de 11 kilogrammes. Le kilogramme coûtant 6 centimes, c'était une économie de 66 centimes par kilomètre; soit, sur le parcours total, qui était d'environ 550 kilomètres, 360,000 fr.; soit environ 1/4 de la dépense totale de la Compagnie.

Polonceau ne se borna pas à perfectionner les machines, il améliora toutes les branches de l'administration.

Ce fut alors qu'il obtint son premier grade dans l'ordre de la Légion d'honneur, celui de chevalier.

L'Alsace était pour lui un théâtre trop limité. Autorisé par le Comité de direction des chemins de fer de l'Est, je lui proposai d'entreprendre, comme régisseur, la traction du réseau, dont quelques kilomètres seulement étaient alors livrés à l'exploitation. Nous avions déjà, après de nombreuses conférences, arrêté les bases d'un traité, lorsque la Révolution de 1848 éclata.

Dans l'état d'agitation où se trouva alors la France, le conseil d'administration de l'Est ne crut pas devoir donner suite à ce traité, et Polonceau, devenu libre, écouta les propositions de la Compagnie d'Orléans. Bientôt après, il traitait avec M. Sauvage, administrateur du séquestre de cette Compagnie.

Dès la première année, il réalisait au profit des actionnaires une économie de plus de deux millions sur les frais de la traction. La seconde, la troisième, la quatrième année, les économies allèrent toujours croissant. Le terme du traité étant arrivé, la Compagnie s'empressa de le renouveler et elle n'eut qu'à s'en louer. Polonceau, qui semblait parvenu à la limite inférieure de la dépense, la réduisit encore.

Il étudiait son matériel jusque dans les moindres détails.

Nous sortirions du cadre que nous nous sommes imposé si nous indiquions les nombreux perfectionnements qu'il a apportés aux machines : on en trouvera une description complète dans le *Nouveau Portefeuille de l'Ingénieur*, et dans la seconde édition du *Traité élémentaire des Chemins de fer*. Qu'il nous suffise de dire que ses machines locomotives et machines outils ont été jugées dignes, aussi bien que son nouveau système de comble, de la plus haute récompense par le Jury de la grande exposition internationale de 1855.

Aux chemins de l'Est on a adopté comme parfait le modèle de machines de gares du chemin d'Orléans. Les modèles de machines à marchandises et de machines de voyageurs du même chemin, marchant à de moyennes vitesses, sont aussi fort appréciées de la grande majorité des ingénieurs. Le succès des modèles de machines à grande vitesse n'a pas été aussi général : les compagnies du Nord, de l'Est et de Lyon lui préfèrent le modèle Crampton. Sans prétendre décider la question, nous ferons observer toutefois qu'en Angleterre, malgré le mérite incontestable des machines Crampton, on continue à faire usage, pour les trains express, de machines qui ont une grande analogie avec celles de Polonceau.

Au jour de la grande exposition de 1855, la place de Polonceau était

marquée dans le jury international. Il fit partie de la commission des ateliers, dont la confiance de ses collègues l'éleva au poste de rapporteur.

Les fatigues de la pratique n'excluaient pas chez lui l'amour de l'étude. La société des Ingénieurs civils et la Conférence des Ingénieurs n'avaient pas de membre plus assidu.

Polonceau a pris part à la rédaction d'ouvrages d'une certaine importance : le *Guide du Mécanicien* et le *Portefeuille de l'Ingénieur*. Il devait enrichir le *Nouveau Portefeuille* d'un chapitre sur le matériel roulant; il n'a pu rédiger ce chapitre. Les souscripteurs l'apprendront avec regret; mais au moins sommes-nous heureux de pouvoir leur annoncer que nous possédons des notes complètes sur d'importantes expériences qu'il avait faites dans le but d'éclairer la théorie des chemins de fer, et que ces notes seront publiées.

Tant de travaux de natures diverses méritaient une récompense exceptionnelle. L'Empereur nomma Polonceau officier de la Légion d'honneur à un âge où rarement les industriels obtiennent une distinction aussi élevée.

Un ingénieur est incomplet s'il ne joint à la science et à la pratique l'habileté de l'homme d'affaires et de l'administrateur. Polonceau possédait ces qualités à un degré éminent. Je ne puis mieux faire que de reproduire l'opinion à cet égard de M. Revenaz, ancien élève de l'Ecole polytechnique, ancien administrateur des Messageries impériales et administrateur du chemin d'Orléans, chargé de contrôler le service de la traction : Je n'ai jamais vu, me disait-il il y a quelques jours, de livres mieux tenus que ceux de notre régisseur de la traction; je n'ai jamais connu un homme plus habile en affaires.

Les qualités du cœur égalaient, chez Polonceau, celles de l'intelligence.

Il savait que, si noblesse oblige, intelligence et fortune obligent aussi. La mission de l'ingénieur placé à la tête d'un nombreux personnel n'était pas, à ses yeux, purement matérielle. Il ne croyait pas avoir rempli complétement son devoir en assurant un salaire raisonnable à ses employés et à ses ouvriers, et il s'était attaché à leur procurer le plus de bien-être moral et physique possible.

Grâce aux belles institutions de prévoyance dont il était l'auteur, le personnel tout entier de la Compagnie d'Orléans, celui de l'exploitation, aussi bien que celui de la traction, trouvent dans les magasins de la Compagnie les vêtements et les denrées aux prix les plus modérés. Cet avantage est d'autant plus précieux que le commerce, dans les villes de province, affiche de grandes exigences à l'égard des employés et des ouvriers des Compagnies.

A Paris, le réfectoire d'Ivry, fonctionnant depuis le 26 janvier 1857, moralise l'ouvrier en l'éloignant des cabarets, et lui donne le goût de la vie de famille, source du plus grand bonheur et des sentiments les plus honorables.

On a aussi constaté que, depuis qu'il était établi, l'état sanitaire des ouvriers, mieux nourris, bien qu'à meilleur marché, s'était sensiblement amélioré.

Rien ne semblait manquer au bonheur de Polonceau lorsqu'il a été si subitement et si inopinément frappé. Il avait perdu fort jeune une première femme, qui lui avait laissé un fils. Marié de nouveau il y a six ans environ, il avait rencontré dans la fille de M. Béranger, président de chambre à la cour de cassation, une compagne accomplie, qui possédait toutes les qualités qui rendent un homme parfaitement heureux sur cette terre, et qui était devenue pour son fils la meilleur des mères. Trois enfants, fruits de cette union, venaient encore en resserrer les liens.

Polonceau était entouré de parents qui lui devaient leur bien être et jouissait de l'affection ou de l'estime de tous ceux avec lesquels il était en relation. Il s'était assuré par le travail et par son talent une existence indépendante, et s'était créé aux portes de Paris, à Viry-Châtillon, une délicieuse habitation, où il se promettait de longs jours de félicité. — C'est au milieu de toutes ces prospérités que la mort l'a atteint subitement. Triste et terrible exemple de la fragilité des choses humaines!...

Sa veuve n'a pas voulu que sa dépouille mortelle fut transportée à Paris dans un tombeau de famille. Elle a désiré qu'elle reposât à quelques pas de ce beau château, où les rêves si doux d'avenir ont fait place au deuil le plus profond.

Les employés, les ouvriers du chemin d'Orléans, venus en foule dire un dernier adieu à celui qui les avait tant aimés, conserveront éternellement le souvenir des paroles touchantes que leur a adressées sur sa tombe M. Didion, directeur général du chemin d'Orléans.

« Polonceau, leur a-t-il dit, a rendu des services éminents à la Compagnie d'Orléans. Elle se plaît à le proclamer par mon organe; mais elle n'oublie pas aussi qu'il a eu pour collaborateurs toute cette nombreuse famille d'employés et d'ouvriers dont je suis entouré. Si le père de famille n'est plus, la famille subsiste; son esprit planera sur elle; les traditions qu'il a laissées ne seront pas perdues, et nous nous ferons tous un devoir de compléter son œuvre. »

Sans doute, vous tous, collaborateurs et amis de Polonceau, qui possédiez sa confiance, et qui, mieux que personne, connaissiez sa pensée, vous ferez en sorte qu'elle porte ses fruits; sans doute, vous tous, employés et ouvriers, qui avez été formés sous sa direction, vous aurez toujours ses préceptes et son exemple présents à l'esprit; et, soyez-en persuadés, M. Didion, chez lequel le cœur le plus généreux s'allie à la plus belle des intelligences, en a pris l'engagement; l'administration du Chemin d'Orléans, qui vous a recommandé de marcher sur les traces de votre chef, prouvera aussi, par ses actes, mieux encore que par ses paroles, combien elle a apprécié son œuvre. Elle continuera, maintiendra et développera, ces institutions de prévoyance, qui attestent si bien sa sollicitude pour vous.

Après avoir lu cette notice avec une émotion partagée par tous, M. le Président croit devoir signaler une rectification qui se rapporte à un fait : la belle charpente en tôle de $42^{m},00$ de portée, étudiée sous l'inspiration et

sous la direction de M. Eugène Flachat, par de jeunes ingénieurs membres de la Société, si elle reproduit la disposition de lignes adoptée par Polonceau dans l'ingénieuse charpente qui reste un de ses beaux titres à l'estime des ingénieurs, n'appartient pas cependant au même système, puisque tous les assemblages y sont essentiellement fixes, tandis que les charpentes Polonceau se caractérisent au contraire par des assemblages à articulations. Il est donc juste et il peut être utile de réserver à M. Flachat et à ceux qui ont concouru à l'étude de la ferme de $42^m,00$ de portée signalée par M. Perdonnet, le mérite d'originalité, de hardiesse et de grandeur qui la distingue, en remarquant en même temps que toutes les autres et si nombreuses fermes qui supportent le bel ensemble de la gare de l'Ouest sont construites sur le système qui porte et doit conserver à juste titre le nom de Polonceau.

M. le Président émet le désir que la notice de M. Perdonnet soit imprimée, et rappelle que la Société a voulu s'honorer elle-même en appelant Polonceau au fauteuil de la Présidence durant l'année 1856; puis il adresse à M. Perdonnet, au nom de la Société, les plus vifs remerciements pour avoir su raconter en termes simples, particulièrement heureux et sympathiques, la belle et bonne vie du très-regretté collègue, que le corps des ingénieurs civils sera toujours fier d'avoir compté dans ses rangs.

Un membre a exprimé le désir que la notice de M. Perdonnet insistât sur le dévouement si actif, si ardent de Polonceau aux intérêts de la Société dont il fut l'un des fondateurs, durant les années 1848, 1849, sur sa participation si active et si féconde à la grande discussion sur les locomotives, discussion qui restera l'une des gloires de la Société aux yeux de tous ceux qui se rappellent la part qu'y prirent les plus compétents entre les compétents.

M. le Président annonce à la Société une autre perte bien douloureuse aussi, celle de M. Cornet, mort si jeune encore et dont la haute intelligence, l'aménité de caractère ont été appréciées par tous ceux qui l'ont connu. M. Vuigner, sous les yeux duquel s'est accomplie une grande partie de la carrière de M. Cornet, a bien voulu promettre de recueillir et de coordonner les faits qui permettront de rédiger une notice commémorative sur la vie trop courte de M. Cornet.

Exprimant ensuite un regret sur la fatigue qui l'oblige en ce moment à faire appel à M. H. Péligot, l'un des secrétaires, le Président dit qu'il va être donné, par ce dernier, lecture d'une notice écrite par M. E. Flachat sur la belle vie et les grands travaux de ***Brunel***. Mais, à cette occasion, M. le Président veut d'abord remercier M. Flachat pour son dévouement actif, qui après nous avoir donné tout récemment un grand et beau travail sur la traversée des Alpes, a bien voulu comprendre que lorsque la tombe vient de se fermer sur deux illustres ingénieurs anglais, ***Brunel*** fils et ***Robert Stephenson***, il faut nous honorer tous en revendiquant le droit de confraternité qui nous permet de dire : ceux-là encore sont nos gloires et nos têtes, et il nous appartient de dire ici et d'énumérer leurs titres d'honneur et de glorification dans les fastes du génie civil. Merci donc à M. Flachat, et écoutons le récit substantiel que nul plus digne ne pouvait faire de la glorieuse et belle carrière de ***Brunel***.

Isambard BRUNEL (1)

Nous venons de perdre un des modèles les plus brillants et les plus complets dont la profession d'ingénieur puisse s'énorgueillir.

Le *Great-Eastern* allait enfin lever l'ancre pour la première fois ; mais, la veille de ce jour tant désiré, les forces de l'homme qui s'était voué à cette grande entreprise étaient épuisées, et elles allaient s'éteindre tout à fait sous l'impression de l'accident qui a interrompu le premier essai de son œuvre.

La mort de Brunel, à l'âge de cinquante ans, est un malheur pour la science, pour l'art, pour tout ce qu'il y a de grand et d'élevé, au point de vue humanitaire, dans le génie civil, auquel il faisait faire des pas si rapides par ces idées grandioses qu'il nous avait habitués à voir sortir, à de courts intervalles, de sa haute intelligence. Brunel avait une merveilleuse entente des moyens de dominer les forces de la nature et de les asservir à l'homme. Rien n'égalait sous ce rapport la hauteur de ses vues que l'énergie studieuse, ardente et convaincue avec laquelle il en poursuivait incessamment l'exécution.

L'histoire de la vie de Brunel sera intimement liée aux grands progrès qui, dans ce dernier quart de siècle, ont si extraordinairement augmenté la richesse et le bien-être des nations civilisées. Il eût pu dire de son vivant : ***quorum pars magna fui.***

Cette histoire sera celle de l'art et, à cause de cela, nous convions ses élèves, ses amis et ses admirateurs, à s'entendre pour faire de l'exposé de ses travaux une œuvre qui soit digne de lui et de l'époque qu'il a éclairée d'un si vif éclat.

Nous nous bornerons à esquisser ici les traits principaux de cette existence si largement remplie.

Brunel, né en 1806 à Portsmouth, où son père construisait les grands ateliers de mécanique de l'Etat, a commencé ses études au collége de Caen, puis il passa deux années au lycée Henri IV, à Paris, et se présenta en 1822 à l'Ecole polytechnique ; mais sa nationalité lui en interdisait l'entrée.

Quand nous l'avons connu, en 1826, il travaillait, sous la direction de son père, au percement du tunnel sous la Tamise ; il avait vingt ans.

Brunel père était l'un des hommes les plus ingénieux de son époque, il avait en outre une grande vigueur d'intelligence; et puis c'était une nature simple, candide et bonne, inspirant une sympathie profonde à ceux qu'il dirigeait, chefs et ouvriers. Il donnait à son fils l'exemple des habitudes sévères et laborieuses d'une existence exclusivement dévouée et consacrée à ses travaux; il n'avait en conséquence négligé aucun moyen de l'instruire, et le jeune Brunel était à cet âge déjà une exception.

En maintes occasions dans cette entreprise si pleine de dangers et de

(1) Ceci a été écrit avant la mort de Robert Stephenson.

péripéties, il a donné des preuves d'une grande force de caractère, et avait ainsi posé son autorité sur l'estime de tous ceux qui participaient à ce hardi travail. Nous raconterons à ce propos, une des anecdotes qui le peignent tel qu'il n'a cessé d'être toute sa vie.

Les eaux de la Tamise avaient envahi le tunnel, et les dispositions prises pour leur en fermer l'accès semblaient avoir réussi, puisque les pompes d'épuisement en abaissaient le niveau dans les galeries.

On n'avait cependant, après bien des jours de travail, gagné qu'un si faible espace entre la voûte et le niveau de l'eau qu'on sentit la nécessité de reconnaître l'état du bouclier, espérant trouver là les moyens d'abréger les travaux d'épuisement.

Un canot fut descendu et huit personnes sachant nager s'y placèrent. A l'exception de Brunel père, qui ne savait pas nager et qui fut, malgré son autorité et ses instances formelles, empêché de prendre part à l'expédition, ces huit hommes étaient les ingénieurs et directeurs de la compagnie et des travaux. Ils se dirigèrent en portant les mains contre les parois de la voûte; des torches éclairaient la marche du bateau, lorsque, arrivés à l'extrémité près du bouclier, la tête de l'un d'eux porta contre un objet saillant; il fut jeté hors de l'embarcation, qui chavira. Les torches éteintes, chacun se cramponna où il put; et, dans l'obscurité profonde, au milieu du bruit des eaux qui filtraient en sifflant dans les parties supérieures du bouclier, on se compta avec la voix. Un seul manquait, celui qui avait été frappé. Plusieurs plongèrent sans succès pour le retrouver; vains efforts, il fallut enfin songer à soi. Un autre canot était nécessaire. C'est alors que Brunel fils partit à la nage, n'ayant pour se guider dans cette obscurité redoutable que la petite lueur de l'extrémité du souterrain. Après une lutte longue et difficile, dans laquelle les parois de la voûte et les débris flottants étaient autant d'écueils ou d'obstacles où il heurtait à toute minute, il arriva au but, demanda les secours nécessaires, puis pour abréger l'angoisse de ses amis, il retourna à la nage, poussant devant lui quelques planches qui portaient des fanaux allumés et des torches. Dans l'attente de l'embarcation on fit de nouvelles tentatives pour retrouver au moins le corps du compagnon perdu, elles réussirent; on visita le bouclier et on reconnut avec terreur que les sacs de glaise avec lesquels on avait formé le fond factice de la Tamise, s'affaissaient lentement, mais progressivement. Cependant, en face de cette situation suprême, le courage n'abandonna personne; et, bien que plusieurs eussent pu tenter d'imiter ce que Brunel fils venait d'accomplir deux fois, l'idée de se séparer un instant de ceux qui s'en sentaient incapables ne fut pas même émise.

Une carrière commencée sous de pareils auspices devait donner promptement de grands résultats. Quelques années après, Brunel fils était engagé dans la construction de chemins de fer de premier ordre.

Georges Stephenson, père de Robert, avait ouvert la voie. Bon et simple comme Brunel père, il était mêlé à des intérêts plus grands, plus entreprenants, plus pleins d'avenir, et, porté par eux, il y suffisait.

C'est une circonstance bien extraordinaire, bien significative aussi que

ce trait de nature qui distingua au même degré les quatre hommes qui ont alors, par leurs travaux, porté si haut l'industrie et l'art des travaux publics. Watt, Brunel père, Georges Stephenson et Telford, avaient une simplicité naturelle, une bonté intelligente et digne, qui leur valaient, dès le premier aspect, la considération ou le respect de tous. Sortis de la classe des artisans ou même des ouvriers, ils n'ont du qu'à eux-mêmes ce qu'ils ont appris. S'ils eussent eu, au point de départ, l'éducation scientifique avec laquelle nos jeunes ingénieurs entrent dans la carrière, que n'eussent-ils pas fait, alors que la concurrence ne divisait pas comme aujourd'hui la part de chacun?

C'est à l'illustration de ces quatre hommes que Brunel fils et Robert Stephenson ont du d'être, dès leurs premiers pas, recommandés et signalés à l'attention publique, à un moment où les chemins de fer ouvraient aux capitaux et aux ingénieurs les opérations les plus vastes et les plus utiles à la civilisation.

Tous deux ont mené cette admirable course en hommes supérieurs par le talent et par le caractère.

Partant d'un point de vue très-différent, ils se sont toujours complétés l'un par l'autre. Le principe qui a dirigé Brunel fils, inspiré d'ailleurs par son père, a été *de faire le mieux possible*. La ligne de conduite de Robert Stephenson, qui continuait aussi son père, était : *de faire bien ce qui suffit*. Les conséquences de ces deux principes les eussent conduits tous deux, l'un à l'exagération et l'autre à l'abandon de l'art ; mais stimulés l'un par l'autre, Brunel a su dominer sa nature et Stephenson agrandir la sienne.

Les ingénieurs ont suivi avec un intérêt toujours croissant les phases de la lutte entre ces deux hommes, lutte toute pacifique, qui a fini par les attacher l'un à l'autre par les liens d'une vive amitié, mais qui, malgré sa forme courtoise, n'en a pas moins été profonde, convaincue et toujours grande comme l'art qui en était le terrain. Brunel trouvait en lui-même des ressources scientifiques plus étendues; mais Stephenson a su grouper autour de lui les hommes de science, de façon à marcher parallèlement avec son rival dans toutes les grandes occasions. L'esprit anglais *ne fais que ce qui paie*, est tout entier dans Stephenson. *Il faut préparer l'avenir*, répondait Brunel; aussi Stephenson s'est-il laissé entraîner à de magnifiques élans, sous cette énergique influence.

L'avenir n'a pas encore prononcé entre eux deux ; le présent, avec une large part de bonheur, mais avec une bien plus grande part de jugement, a placé plus haut Stephenson dans l'histoire des entreprises financières qui ont signalé, en Angleterre, la marche de l'industrie des travaux publics. Au fond, cependant, l'incertitude existe encore.

L'Angleterre industrielle s'est un moment séparée en deux parties sur la grave question de la *voie large* proposée par Brunel, et de la *voie étroite* défendue par Stephenson. Cette dernière représentait plus d'intérêts engagés que l'autre ; elle a triomphé; mais la large voie offrait des perspectives si encourageantes que le doute était permis : peut-être l'est-il encore?

Si on avait prévu alors, en présence du peu d'importance des intérêts

engagés, l'énorme développement de ceux qui, en si peu d'années, allaient s'engager encore, si on avait prévu qu'à partir du jour où la voie étroite serait décidément préférée, les efforts de tous les ingénieurs seraient incessamment portés vers l'accroissement des dimensions des véhicules et des moteurs; si on avait prévu qu'après un très-petit nombre d'années, la dimension transversale des wagons excéderait le double de leur base, qui est la largeur de la voie; si on avait prévu, enfin, que l'adhérence des machines permettrait l'emploi de trains de quatre cents mètres de longueur sur niveau ou sur de faibles rampes; si les législateurs, si le public ou plutôt si Stephenson avait prévu tout cela, il eût été moins absolu dans sa défense des intéressés à la voie étroite.

Il est en Angleterre des esprits assez rigoureux pour blâmer encore aujourd'hui Brunel des efforts qu'il a faits pour faire prévaloir la large voie. C'est ne connaître ni l'histoire de l'industrie des chemins de fer, ni celle de l'art qui s'y applique. C'est à la voie large que l'on doit l'initiative des grandes vitesses; des fortes surfaces de chauffe; des supports longitudinaux de la voie, qui ne sont autre chose qu'un moyen de rigidité du plan de roulement. Cette rigidité, les ingénieurs en ont tous senti l'impérieuse nécessité, et ils ont appliqué à la voie de Stephenson l'éclissage, qui n'a pas d'autre but. Le principe que Brunel a défendu avec tant de persévérance, celui de placer sous les trains une ligne de rails sans solution de continuité, homogène dans sa résistance, a rallié tous les esprits. On l'a appliqué à toutes les formes de rails, et cela se fait aujourd'hui généralement.

Brunel a triomphé de son rival dans les résultats extrêmes, dans le parti extrême à tirer des chemins de fer. Nous voulons parler de la vitesse de marche des machines. La lutte n'a pas été, sous ce rapport, incertaine un seul jour. Elle a été la cause des progrès considérables que Stephenson a fait faire aux machines locomotives de la petite voie pour atteindre la puissance de celles de la grande. Brunel, qui n'a jamais abandonné la direction technique du *Great-Western*, a le premier démontré l'importance des grandes surfaces de chauffe. Il a été suivi sur ce terrain par la France et l'Allemagne plus encore que par l'Angleterre.

Dans ses ouvrages d'art, les ponts, les travaux des ports, etc., Brunel a montré le culte qu'il vouait aux grands principes de l'architecture. Il a toujours cherché la sévérité et la grandeur des formes plus que leur élégance. Ses lignes sont fortement accentuées, on retrouve avec plaisir dans son dessin l'école de Vauban.

Brunel a fondé, avec Stephenson, l'emploi du fer dans les travaux d'art, et cela a été fait à l'éternel honneur de tous deux. Parce qu'un petit apprent opticien était devenu James Watt, qu'un ouvrier carrier était devenu Telford, qu'un artisan était devenu Brunel père, qu'un chauffeur ne sachant pas lire à quinze ans, était devenu Georges Stephenson, on affirmait en France que les ingénieurs anglais n'ayant pas d'école n'avaient pas de science; et cela se disait au moment où Brunel fils et Stephenson élevaient, avec la matière qui peut le plus hardiment et le plus sûrement être soumise au calcul, des œuvres gigantesques que la science a sanctionnés, et qu'aucun savant n'a

encore critiqués. Ces travaux, nous les connaissons tous, nous en avons avidement lu les descriptions; ou nous les avons visités, car nos pèlerinages l'étude se sont toujours accomplis, de préférence, dans le pays où ces deux hommes de génie ont montré la puissance de leurs conceptions.

Mais un autre ordre de travaux a encore séduit et entraîné Brunel, et nous allons abandonner le parallèle que nous avons suivi entre Robert Stephenson et lui. Nous voulons parler de ses constructions maritimes. Non pas que Stephenson se soit tenu étranger à ce grand intérêt : il n'eut pas été bon anglais s'il n'eut pas compris cette force invincible, cet intérêt inébranlable qui pousse ce pays à s'emparer commercialement de la mer à mesure qu'il est forcé de perdre l'espoir de la dominer militairement, comme à l'époque où les nations du continent s'entre-détruisaient. Stephenson a construit des bateaux à vapeur qui naviguaient d'Holyhead à Kingston. La rapidité de leur marche dépassait alors ce qui se faisait de mieux. Il ne paraît pas avoir persévéré dans cette direction. Ici donc, Brunel n'a plus de rival, il est livré à lui-même, son génie n'a plus d'autre guide que le sentiment de l'avenir, aussi le présent est-il désormais sacrifié. Trois efforts suprêmes seront successivement tentés par lui, tous trois aboutiront au succès scientifique, au succès de l'art, à la démonstration de la vérité possible et pratique, mais tous trois aboutiront également à la ruine financière de ceux qui se sont les premiers associés à ses vues.

C'est en 1835 que Brunel a dirigé la construction du ***Great-Western***, le premier navire à vapeur qui ait ouvert une communication régulière avec les États-Unis d'Amérique.

Quelques années plus tard il construisit le ***Great-Britain***; sa première pensée était d'y adapter des roues à aubes, mais l'hélice était à l'essai. Brunel suivit les expériences de l'***Archimède*** et fit construire, pour les continuer, le navire le ***Rattler***, qui a parfaitement réussi. Brunel fut l'un des promoteurs les plus ardents de l'hélice, que l'amirauté anglaise repoussait énergiquement. Le ***Great-Britain***, malgré la rupture de son hélice, malgré qu'il ait été jeté par la tempête sur les rescifs de la baie de Dundrum, d'où il a été renfloué après onze mois d'échouage, sans que ses lignes de construction et sa coque eussent subi aucune altération, le ***Great-Britain*** est aujourd'hui, après le ***Great-Eastern***, le plus beau et le plus grand des bâtiments qui naviguent; il a en largeur quelques mètres de plus que l'***Himalaya*** et le ***Persia***; il est plus court que ces navires de neuf à dix mètres.

Le ***Great-Eastern*** est le dernier œuvre de Brunel. Nous nous bornerons à reproduire ici les quelques phrases, simples et touchantes, qu'un des intéressés dans cette entreprise a écrites quelques jours après la mort du célèbre ingénieur.

« Le ***Great-Eastern*** est le dernier navire auquel M. Brunel ait consacré son merveilleux talent. Quels que puissent être les mérites ou les prétentions d'autres ingénieurs à ce sujet, c'est aussi bien son œuvre que le ***Great-Western*** et le ***Great-Britain***. Sa santé a été brisée par les épreuves physiques et morales qui l'ont frappé, depuis la conception jusqu'au lancement de ce bâtiment. Peu de gens savent tout ce qu'il a souffert, depuis le

jour où il est parti pour l'Égypte, jusqu'au moment de son retour, où il s'est trouvé l'ingénieur d'une compagnie toute nouvelle formée à son insu, et qui avait contracté sans lui des engagements qui aggravaient sa position.

« Incapable de diriger les travaux, M. Brunel s'appliquait à faire compléter son œuvre du mieux qu'il pouvait. La veille du jour ou le *Great-Eastern* devait quitter la Tamise, M. Brunel se rendit à bord dans l'après-midi, avec l'intention d'y passer la nuit ; mais des symptômes de paralysie se déclarèrent, on le transporta chez lui en toute hâte, et il fut placé sur le lit d'où il ne devait plus se relever.

« C'est quelques jours après qu'il apprit l'accident qui avait eu lieu sur le *Great-Eastern*. Depuis ce moment il s'est affaibli graduellement, et il est mort deux jours après avoir reçu cette nouvelle.

« Un homme d'un grand cœur, de vastes conceptions, et d'un grand talent de réalisation pratique, vient de disparaître d'au milieu de nous, au moment où son plus grand ouvrage touchait à sa fin. Il a été enlevé à des amis qui l'aimaient, à une femme et à des enfants qui connaissaient son mérite, et qui le pleureront comme ceux-là seuls peuvent pleurer qui connaissent l'étendue d'une si grande perte. »

L'heure avancée oblige à renvoyer à la prochaine séance, la lecture de la notice rédigée encore par M. E. Flachat sur Robert Stephenson.

La parole est donnée ensuite à M. H. Péligot pour faire l'analyse de la note sur le *curage et l'entretien des cours d'eau industriels*, adressée à la Société, par *M. Boudard* aîné, l'un de ses membres.

Dans cette note, M. Boudard, après quelques considérations générales sur les cours d'eau qui desservent les moteurs hydrauliques, signale pour ces petits cours d'eau deux causes principales, qui font varier la chute utilisable et la pente nécessaire à l'écoulement en aval des moteurs ; ces deux causes sont :

1° L'irrégularité de la section des cours d'eau ;

2° Les végétations aquatiques.

L'irrégularité de la section tient à ce que le fonds du cours d'eau n'étant pas lui-même parfaitement régulier, et les berges étant presque toujours à pic et formées de matières affouillables pendant les crues, les berges sont peu à peu creusées, la terre dont elles sont formées va se déposer dans le fond du canal, et s'arrête aux endroits où elle rencontre des éminences. formant ainsi de véritables barrages qui diminuent la section du cours d'eau ; d'un autre côté, l'entraînement des terres des berges produit des baies, formées aux dépens des propriétés riveraines.

Sous l'influence de la terre végétale qui recouvre alors le gravier, de la température douce de l'eau dans la saison des basses eaux, et de la lenteur du courant, il se forme une énorme quantité de végétations aquatiques qui ralentissent encore le cours de l'eau ; ces végétations prennent plus de consistance par suite des orages qui rendent les eaux limoneuses ; ce limon est arrêté par les végétations ; et, quand viennent les fortes eaux, la terre, le gra-

vier et les végétaux forment un ensemble *feutré* et résistant, qui élève l'eau au-dessus du niveau nécessaire à leur écoulement; les chutes diminuent dans la saison des basses eaux, et, dans la mauvaise saison, les moteurs sont noyés en aval, au point qu'on est obligé à de longs chômages.

Pour parer à ce grave inconvénient, M. Boudard propose de régler le lit de la rivière au moyen de dragages, et de faucher constamment les végétations aquatiques.

Ce fauchage puise un intérêt particulier dans l'emploi que l'on peut faire comme engrais des herbes fauchées. Pour cela, on les place mouillées par couches horizontales alternées avec des fumiers chargés de litières d'écurie ou d'étable; elles fournissent à la paille l'humidité nécessaire pour hâter sa décomposition, et l'on produit ainsi un engrais très efficace.

Le sable et la terre enlevés par le dragage du fond de la rivière servent à rétablir les berges dans leur état normal, et permettent de rendre ainsi aux propriétaires riverains d'importantes quantités de terrain que les eaux leur avaient enlevées.

Dans le cas où les déblais seraient trop considérables pour servir uniquement à rétablir les berges, on est forcé de faire des dépôts.

M. Boudard donne ensuite la description d'un appareil dragueur dont il s'est servi avec succès pour curer la rivière d'Epte, dans le département de l'Eure.

Cet appareil, dont le dessin sera inséré dans le bulletin de la Société, permet d'opérer le dragage à la profondeur voulue, de $1^m 50$ à $1^m 70$, à bras d'hommes.

Avec un personnel de six hommes, coûtant 16 fr. 50 c., on a pu retirer par jour 11 à 13 mètres de déblais, transportés à 50^m de distance moyenne en aval, ou à $25^m 00$ en amont. Le travail, entrepris à façon, a coûté de main d'œuvre 1 fr. 40 c. le mètre cube. Ce prix a été porté à 1 fr. 77 c. par suite de plus-values pour roulage à la brouette et de l'entretien du matériel.

On peut recouvrer une partie des sommes dépensées en vendant les cailloux et les sables extraits de la rivière, mais on trouve surtout un bénéfice considérable en évitant le chômage des fortes eaux d'hiver, causé par l'immersion des moteurs en aval.

M. Boudard termine sa note en indiquant le mode de métré des remblais formés par les dépôts.

M. Tronquoy est appelé à donner quelques explications sur des tableaux, donnant par simple addition la résistance des poutres en forme de double T, poutres composées d'un axe vertical, de cornières et de tôles horizontales; les axes verticaux ayant des hauteurs croissant de 5 en 5 centimètres, jusqu'à 1^m, et de 25 en 25^c de 1^m jusqu'à 6, leur épaisseur variant de millième en millième depuis cinq millièmes jusqu'à quatorze.

Les cornières étant celles du commerce le plus ordinairement employées, c'est-à-dire celles de 125, de 10, de 9, de 8, de 7, de 6, de 5.5, de 5.0, de 4.5, de 4.

Les tôles horizontales ayant des épaisseurs variant de 0.5 centimètres, depuis 0, jusqu'à 6c, et des largeurs variant de décimètres en décimètres, de 10c jusqu'à 90c.

En faisant connaître que *M. Poujard'hieu*, secrétaire général de la compagnie des chemins de fer du Midi, a adressé à la Société un exemplaire du travail qu'il vient de publier, sous le titre : *Solution de la question des chemins de fer*, M. le Président croit devoir signaler l'intérêt très grand avec lequel il a lu cette publication. Après avoir examiné quels sont les revenus possibles des subventions de l'Etat, M. Poujard'hieu fait voir que l'achèvement et l'extension des réseaux ne sauraient être fructueusement réalisés qu'à la condition de faire une large place aux chemins à une seule voie.

Il donne ensuite un devis sérieux, complet et rationnel, des frais de construction, d'établissement, d'entretien et de traction, correspondants aux chemins à voie unique.

Il aborde ensuite l'examen de la question financière, et arrive à proposer une solution neuve et hardie ; elle se résume dans la création d'un vaste *établissement de crédit spécial*, fondé sur la concentration des obligations des chemins de fer et sur l'émission de billets de cette Banque spéciale. Il expose les voies et moyens de cette création, en même temps qu'il discute les objections qui peuvent être ou lui ont été déjà adressées. Le Président, tout en sentant son incompétence pour juger en si haute et si difficile matière, a été frappé de la grandeur de l'idée, et il est certain d'être utile à ses collègues en appelant leur attention sur un travail, où l'étude approfondie de la plus vaste des questions qui intéressent l'avenir financier de notre pays est attestée à chaque page.

SÉANCE DU 4 NOVEMBRE 1859.

Présidence de M. Faure.

M. le Président croit utile d'appeler l'attention de la Société sur un document qu'elle vient de recevoir, sous le titre : *Notice sur Saint-Nazaire (Loire-Inférieure)*. Les auteurs de ce travail, après avoir signalé le développement rapide dans ces dernières années du port de Saint-Nazaire, placé à l'embouchure de la Loire, dans une situation identique à celle de Liverpool située à l'embouchure de la Mersey, exposent l'avenir réservé à ce *Liverpool de la France*. Ils ont abrité leurs espérances sur des paroles prononcées il y a peu de temps par M. le préfet de la Loire-Inférieure et dont M. Faure donne lecture. Créer à Saint-Nazaire un grand port de com-

merce, de grands bassins, de vastes magasins publics, des docks à entrepôt dans lesquels serait organisé et pratiqué le système des warrants qui mobilisent la marchandise et sa valeur; arriver en outre à organiser des ventes aux enchères publiques à époques régulières pour la réalisation des marchandises par grandes parties, tel est le but grandiose et complexe que se sont proposé les auteurs de la notice. On voit qu'il consiste à appliquer au port de Saint-Nazaire ces moyens d'action, qui, largement utilisés en Angleterre depuis un demi-siècle, ont puissamment aidé à l'immense développement commercial de cette nation. Les auteurs du projet trouvent les éléments de la solution dans l'anse de la Villez-Martin, située à droite de la langue de terre sur laquelle est assise la ville de Saint-Nazaire, et dont l'autre extrémité forme l'anse de Penhouët, qui resterait affectée exclusivement aux grandes créations de notre marine militaire.

L'établissement d'une digue, fermant les deux extrémités de la rade de la Villez-Martin, aurait pour résultat la création d'un port, en même temps qu'elle conquerrait sur la mer un terrain d'une étendue de cent hectares. Les études du projet ont été faites par un membre de notre Société, M. Love.

M. Roy signale, comme un obstacle à la réalisation de cette conception, les ensablements qui se produisent dans le port de Saint-Nazaire; mais M. Faure répond que cette objection a été prévue par les auteurs du projet et combattue par des considérations qui paraissent fondées. Le nom et la capacité de notre collègue M. Love donnent à ses études une garantie sérieuse.

M. le Président donne ensuite lecture de la notice biographique sur Robert Stephenson, par M. Eugène Flachat.

Robert STEPHENSON

Il y a quelques jours à peine nous rappellions ici à votre souvenir les traits principaux de la brillante carrière de Brunel, éteinte si prématurément. Dans l'histoire de cette vie si pleine et si active une autre existence, rivale en grandeur d'intelligence et d'activité, en élévation de caractère, en simplicité de mœurs et de formes, celle de Stephenson, nous avait offert l'occasion d'un parallèle à l'honneur de toutes deux. Nous ignorions qu'au moment où nous poursuivions cette comparaison dans la vie, elle s'accomplissait aussi dans la mort.

Deux illustres émules, devenus camarades, et plus tard francs et loyaux amis, se sont suivis à quelques jours près, hors de ce monde, après avoir doté en trente ans leur pays d'œuvres d'utilité publique si vastes, qu'on peut dire qu'ils ont accompli la tâche de plusieurs générations.

Robert Stephenson était l'ingénieur le plus connu, le plus populaire entre tous, et il méritait de l'être. Né anglais, il a porté dans son cœur, dans

ses relations, dans sa physionomie même, en un mot dans toute sa personne, les qualités et les vertus des natures d'élite qui ont fourni à cette nation ses hommes les plus éminents.

Simple, direct et sincère dans ses conceptions, il allait au but sans hésitation, et le but était toujours sage. Il y allait modestement, mais avec une énergie et une persévérence inaltérables. Mêlé dès l'origine à la grande industrie des chemins de fer, il en est devenu le guide le plus sûr; et, lorsque sous l'inflluence de l'activité que ces voies nouvelles répandaient dans le pays, obéissant à l'entraînement public, le Parlement livrait aux appels de la concurrence toutes les parties du territoire, Stephenson, résistant avec une grande solidité de jugement à cet abus de la puissance du crédit, ne donna son concours qu'à des entreprises utiles. On lui en sut gré; et, lorsque les têtes se refroidirent, Stephenson devint l'arbitre, le juge favori, celui que l'on consultait avant d'entreprendre une grande opération, parce que la confiance publique était en lui si entière que son assentiment ou son concours était un gage de crédit et de succès.

Stephenson est né à Willington, à six milles de Newcastle, le 16 décembre 1803; il passa les premières années de sa vie près de son père, l'illustre Georges Stephenson, alors simple garde-frein dans les charbonnages de la Tyne. L'école de la paroisse de Benton, qu'il fréquentait, n'offrait que de bien faibles ressources ; mais elle était presque gratuite, et son père ne subvenait qu'à l'aide d'une sévère économie aux besoins de la famille. A l'âge de onze ans, il fut envoyé à Newcastle, à l'école de Bruce, qui était la meilleure du district, et il s'y distingua par une grande aptitude pour les études préparatoires aux sciences exactes. Il en sortit en 1818. Son père dirigeait alors les travaux des charbonnages, et tous deux commencèrent cette association qui a produit les grands résultats que l'on connaît. Le père s'aidait de l'instruction du fils en discutant avec lui et en dévorant les livres que celui-ci empruntait à l'institution philosophique et littéraire de Newcastle, dont il était membre. Robert secondait son père dans la direction et l'inspection des travaux. Georges, émerveillé des facilités que trouvait son fils dans l'instruction qu'il avait acquise, se décida à s'en séparer encore pour l'envoyer à l'université d'Edimbourg. Il y resta six mois; la dépense s'éleva à 2,000 fr. Georges Stephenson ne pouvait, avec les faibles ressources de son salaire, continuer pour son fils un pareil sacrifice. Mais Robert avait bien employé ce temps : il rapportait à son père le prix de mathématiques. Dans les années qui suivirent, tous les moments de repos furent consacrés par tous deux à l'étude : c'était leur seul plaisir. Le moment venu où Georges Stephenson fut appelé à diriger, comme ingénieur, les travaux du chemin de fer de Stockton à Darlington, Robert dessina les machines des plans inclinés : c'était en 1824. Il avait vingt et un ans, et il avait acquis assez de réputation pour qu'on lui offrît le poste d'ingénieur d'une entreprise de mines en Colombie, dans l'Amérique du Sud. Il y resta jusqu'en 1827. Mais Georges seul ne pouvait suffire à la tâche; il rappelait instamment son fils, et il lui donna dès son retour la direction des ateliers

de construction de Newcastle, qui sont devenus entre ses mains l'une des principales sources de leur fortune à tous deux.

La construction du chemin de fer de Liverpool à Manchester était confiée à Georges Stephenson, et c'était le moment où se discutait le choix du mode de transport qui y serait adopté : chevaux, machines fixes ou locomotives. La locomotive avait beaucoup d'adversaires. Les Septhenson, qui en étaient les promoteurs ardents, étaient traités de visionnaires ; on disait en plein comité du Parlement que l'homme qui prétendait faire marcher des machines à la vitesse de douze mille (19 kilomètres) à l'heure, était un fou. Plusieurs d'entre nous ont assisté à ces luttes, qui se terminèrent le jour où la machine la *Rockett*, construite par Robert Stephenson dans les ateliers de Newcastle, remporta le prix du concours.

Il semblait que ces deux hommes fussent ce jour-là à l'apogée de leur carrière, et cependant ce qu'il leur restait à faire devait dépasser de beaucoup ce qu'ils avaient accompli.

Nous les voyons dès lors dirigeant la construction de la plupart des grandes lignes, apportant chaque année une solution nouvelle aux obstacles qu'oppose la configuration du sol, et faisant bientôt une large application de la fonte et du fer aux travaux où il y avait avantage à les substituer à la pierre, faisant enfin subir à la machine locomotive, comme à toutes les applications de la mécanique à la construction, des transformations nouvelles.

La plus grande gloire des deux Stephenson et de Brunel, c'est d'avoir fondé sur des bases impérissables, d'avoir ouvert à l'avenir, l'art d'exécuter les grands ouvrages d'utilité publique ; c'est d'avoir démontré que les solutions, les procédés dans lesquels l'enseignement circonscrivait l'exercice de la profession d'ingénieur, n'avaient qu'une faible valeur comme règle ou comme limite de l'art ; et que le but, les moyens de l'atteindre et les circonstances locales, fournissaient incessamment à l'étude une grande variété dans les solutions ; c'est aussi d'avoir démontré que les connaissances mécaniques sont le point de départ le plus sûr pour l'ingénieur appelé à exécuter de grands travaux, nous donnant ainsi, comme une conséquence de nos méthodes d'enseignement, la clé de notre infériorité relative.

Ce qu'il y a de grand, d'impérissable dans ces trois existences, c'est d'avoir laissé plus à faire encore qu'elles n'ont fait elles-mêmes, en montrant comment il fallait exploiter le vaste champ des applications. Mais pour toutes trois, il y aura dans l'opinion publique, qui est bien plus le reflet des intérêts présents que de ceux de l'avenir, une place spéciale à chacun. Georges Stephenson, le simple garçon de ferme, fils d'un chauffeur de machines, sera une des mémoires les plus chères à l'Angleterre, parce qu'elle prouve une fois de plus que le génie y est affranchi des obstacles qu'en d'autres contrées des administrations envahissantes élèvent contre ceux qui n'ont pu suivre, dès leurs premières années, le sentier qu'elles ont tracé.

Robert Stephenson aura une gloire plus complète, celle d'avoir été toujours supérieur à son époque, quelque grandes qu'aient été ses exigences ; d'avoir su, par une hauteur et une libéralité de vues bien rares dans de si

hautes positions, grouper autour de lui les savants et les habiles et diriger leur marche par le patronage le plus généreux et le plus éclairé.

« Je suis heureux, disait-il, après l'achèvement du pont de Menai, parce que j'en suis arrivé, par le concours des hommes qui sont autour de moi, à ne plus rien m'attribuer de personnel dans les œuvres qui font honneur à la science, à notre profession et à mon pays. Je suis heureux et reconnaissant d'avoir trouvé, dans ce concours, des forces puisées aux sources de l'instruction la plus élevée, avec l'expérience et le dévoûment des hommes qui travaillent avec moi. » Faisant ainsi allusion à Hodgkinson, à Clarck et même à un homme dont l'ambition et l'ingratitude n'ont abouti qu'à montrer la noblesse et la générosité du caractère de Stephenson.

Le génie de Brunel, génie prime-sautier, comme aurait dit Montaigne, porté bien haut par les ingénieurs, ne sera compris et exalté par l'Angleterre que si sa dernière tentative, le *Great-Eastern*, aboutit à un succès. La fortune de l'Angleterre, l'emploi de ses milliards, la condition de sa richesse, de son influence, de sa conservation comme puissance commerciale et maritime, sa valeur politique, en un mot, est tout entière aujourd'hui dans le développement de sa marine marchande. Il faut qu'elle désespère, si elle veut vivre en paix avec le monde, d'avoir une marine militaire qui lui donne sur la mer une supériorité quelconque. Le progrès de la marine marchande, c'est-à-dire la substitution, en un petit nombre d'années, des bâtiments à vapeur aux bâtiments à voile, est aujourd'hui la grande tendance commerciale de ce pays, ce qui assure à son industrie et à son commerce l'activité qui résultera d'une supériorité de mieux en mieux assise sur les marchés étrangers. Or, Brunel est le génie, le pionnier de cette nouvelle ère. C'est lui, dont la conviction aussi indomptable qu'éclairée, a entrepris la solution du plus grand problème dans lequel la science de l'ingénieur soit aux prises avec les forces les plus redoutables de la nature. Brunel n'ayant voulu accepter, sous le prétexte complaisant *des hasards de la mer*, ni les naufrages, ni les souffrances qu'enregistre chaque année comme une issue fatale, l'histoire de la navigation; Brunel voulant dompter et, ayant heureusement, par des essais gigantesques au jour où ils ont été tentés, dompté la mer et les vents, et mettant par un essai plus gigantesque encore le sceau au triomphe de l'homme sur la nature; Brunel sera considéré, ainsi que Robert Stephenson, mais peut être après lui, comme un des génies bienfaiteurs de l'humanité, c'est-à-dire comme un des hommes les plus utiles au progrès de la civilisation.

Tous trois sont et resteront longtemps les maîtres de l'art, et ils auront à ce titre la reconnaissance de tous les ingénieurs qui les ont connus, comme de ceux qui étudieront leurs travaux. Ils auront des admirateurs d'autant plus sincères, que chaque jour la science donne accès par des chemins plus multiples à notre profession, et que les carrières officielles se dégagent, par leur contact avec la libre industrie, de préventions qui étaient devenues des entraves aux progrès.

Nous nous sommes cru dispensé d'entrer dans des détails sur les travaux de Robert Stephenson. Cette vie est connue de nous tous ; pour d'autres,

elle sera écrite comme l'a été celle de son père, où nous avons puisé quelques-unes des dates qui précèdent.

Nous avons ailleurs rappelé comme un des grands épisodes de la vie de Stephenson la lutte célèbre qui s'est élevée entre Brunel et lui sur la dimension de la voie des chemins de fer et dans laquelle il a triomphé.

Celle qui survint plus tard entre les deux mêmes hommes sur le système atmosphérique a fourni à Robert Stephenson l'occasion de prouver, par une dialectique puissante, la profondeur et la rectitude de son jugement. Il a préservé Brunel et l'Angleterre du mécompte qu'eût entraîné l'emploi sans discernement, comme solution générale, d'un procédé dont le rôle est, entre tous les moyens de locomotion, l'un des plus limités. Brunel le comprit, et ce ne fut pas là l'une des moindres causes de son amitié pour Stephenson et de l'estime qu'il portait à son talent.

Georges, son fils Robert Stephenson, et Brunel, sont morts riches. En Angleterre, on sait gré de leur richesse aux hommes qui ont su conquérir l'estime publique par leur caractère et s'enrichir par leur habileté. On voit dans ce résultat la conséquence d'une société bien organisée pour encourager le talent, et lui donner toute sa liberté en le dégageant des préoccupations immédiates. En France, il n'en est pas ainsi. Il est encore resté d'un autre âge cette disposition d'esprit, qu'au travail doit suffire le salaire qui met au jour le jour à l'abri du besoin. La distance semble grande au premier coup d'œil, en fait il n'y en a qu'une très-légère : Les deux Stephenson, les deux Brunel comme tous les hommes de cette trempe, ont travaillé jusqu'à leur dernière heure; depuis plus de trente ans nous les suivions pas à pas, et nous voyions s'agrandir autour d'eux les obligations de l'étude, les préoccupations, les anxiétés, les contentions d'esprit qu'entraîne une immense sphère d'activité et les responsabilités qui en sont la conséquence. C'était leur besoin, leur bonheur, leur vie intellectuelle; et, si on leur avait demandé à la fin de leur carrière de renoncer à cette existence, ou de sacrifier la part de leur fortune dont leurs habitudes matérielles ne leur faisait pas sentir le besoin, nul doute qu'ils eussent préféré continuer leur œuvre.

En les prenant pour modèles, n'espérons jamais, dans ce pays, arriver comme eux à la fortune : l'existence la plus active ne conduira au bien-être dans notre profession qu'à force d'années d'un travail persévérant et de quelques chances heureuses; mais elle trouvera, dans la considération publique, une compensation de plus en plus encourageante, car plus le monde se connaîtra, mieux il appréciera les services que peut rendre une profession qui produit des hommes tels que Robert Stephenson.

Nous apprenons en ce moment, que la Commission, instituée pour autoriser ou refuser l'admission, dans l'église de Westminster, des dépouilles mortelles des hommes qui ont rendu de grands services au pays, a agréé la demande qui lui a été faite par la Société des ingénieurs civils d'y déposer celles de Robert Stephenson. Cet honneur est une grande satisfaction pour l'opinion publique.

C'est un hommage solennel à un génie incontesté, à une mémoire sans

taches, à une existence vouée au bien, à tous les étages de la vie et au milieu d'une immense activité.

Après cette lecture, M. le Président remercie de nouveau M. E. Flachat pour avoir fait que la Société ait pris sa part dans les hommages rendus aux deux hommes éminents qui ont honoré notre profession à un si haut degré.

Dans l'analyse de l'ouvrage de M. Love, présentée par M. Tronquoy à la séance du 16 septembre dernier, se trouve cité un chiffre extrait des expériences de M. Tenbrinck sur la résistance des aciers de MM. Gouvy; or, ce chiffre se trouve être précisément le minimum entre ceux qui s'appliquent aux divers échantillons des aciers fabriqués par MM. Gouvy.

Dans cette situation, M. Gouvy, membre de la Société des ingénieurs civils, a demandé à M. le Président de donner communication du tableau complet de M. Tenbrinck, dont les chiffres ci-dessous sont extraits.

			Charge	
			d'allongement	de rupture.
Tiges de piston —	Gouvy —	acier fondu doux.	3,220 k. à 6,080	7,160 k.
Plateau —	Id.	mince en acier fondu.	3,220 à 4,800	6,060
»	Id.	épais-acier fondu doux.	3,220 à 4,460	4,860
Tiges de piston —	Id.	» »	3,220 à 7,000	7,200

Les observations du tableau Tenbrinck disent en outre que les aciers Gouvy sont très remarquables ; on a pu replier sur eux-mêmes à froid, et plusieurs fois, les échantillons expérimentés.

Enfin, M. Faure ajoute qu'il a sous les yeux un tableau graphique, dont les courbures expérimentales indiquent que les essieux Gouvy se sont comportés d'une manière remarquable dans les essais.

Il est donné lecture d'un mémoire de M. Desbrière sur la fabrication des rails en Angleterre.

M. le Président adresse des remercîments à M. Desbrière pour cette communication qui complète d'une façon très-intéressante celle que cet ingénieur a déjà faite sur la fabrication des rails en France et dans les usines du Phœnix.

Sur l'invitation de M. le Président, M. Goschler rend compte à la Société de l'essai d'un appareil de croisement de voie appliqué en Belgique. M. Goschler rappelle que les premiers croisements se composaient d'une pièce de fonte portant le cœur et les contrerails, mais que, l'usure rapide de la fonte ayant fait renoncer à cette disposition, on avait généralement employé le système avec rail à double champignon, dont les inconvénients, au point de vue de l'entretien, sont bien connus.

L'appareil essayé en Belgique remédie à ces inconvénients, et de plus, il permet d'atténuer les effets de la solution de continuité en faisant porter les roues sur leur boudin. Il se compose d'une table en fonte à ergots, sur laquelle reposent les trois pièces du croisement; ces pièces sont en fer fort, de section carrée, sauf le bombement voulu de la partie supérieure

sur laquelle roulent les véhicules, et leur base profilée en queue d'aronde est maintenue extérieurement par les ergots de la table, et intérieurement, au moyen de platines ajustées entre le cœur et les contre-rails, et fixées sur la table par des boulons à tête fraisée; c'est sur ces platines que portent les boudins des roues. M. Goschler fait remarquer que la simplicité de cette disposition rend très-rapide le remplacement des pièces du croisement, puisqu'il suffit, dans ce cas, de déboulonner les platines. L'expérience a démontré que la durée de cet appareil est bien plus considérable que celle des croisements ordinaires, qui coûtent à peu près le même prix. Dans une des principales stations de Belgique où les croisements ordinaires devaient être remplacés tous les deux ou trois mois, le nouveau croisement résiste depuis deux ans.

M. Goschler entretient ensuite la Société de l'idée qu'il a eue d'une application de l'injecteur de M. Giffard. Il a été frappé, comme tous les ingénieurs, des avantages de l'injecteur, et il s'est demandé si cet ingénieux appareil ne pourrait pas être convenablement utilisé dans certains cas comme machine élévatoire, notamment pour l'alimentation des réservoirs d'eau des chemins de fer pour le service d'alimentation des tenders. Dans cette application, toute la vapeur qui ne produirait pas d'effet mécanique serait utilisée à réchauffer l'eau d'alimentation, et il n'y aurait ainsi qu'une faible perte de chaleur. Une petite chaudière avec un injecteur remplacerait donc l'ensemble compliqué des machines à vapeur et des pompes qu'il faut aujourd'hui installer dans les stations pour élever l'eau nécessaire au service des grues hydrauliques. M. Goschler, frappé de la simplification qui pourrait être ainsi réalisée dans les engins de cette alimentation spéciale, désire que cette question soit discutée au sein de la Société.

M. Faure fait remarquer qu'il y aurait lieu d'examiner si, dans l'intervalle des alimentations successives, les parois du tender ne laisseraient pas perdre une portion plus ou moins considérable de la chaleur de l'eau d'alimentation; il n'y a aucun doute d'ailleurs sur la possibilité de l'élévation de l'eau par les tubes à cônes divergents, et l'on trouve même dans les travaux de Manoury-Dectot des recherches intéressantes sur cet objet, et des moyens de calculer les diamètres successifs des tubes et leur profil longitudinal pour une hauteur donnée de l'eau à élever.

M. Roy pense qu'il faut examiner aussi quelle sera la température de l'eau d'alimentation; si cette température s'élevait au-dessus de 40°, les injecteurs ne fonctionneraient plus.

M. Boivin indique que M. Giffard a déjà eu l'idée d'employer l'injecteur pour élever de l'eau, puisqu'il en a fait placer un, comme pompe de cale, sur le yack *l'Aigle*.

M. Faure remarque qu'il s'agit ici d'une application toute spéciale dans

laquelle on doit élever une masse d'eau, coûte que coûte. De l'avis de M. Giffard lui-même et d'un travail de M. Combes, publié dans le bulletin de la Société d'encouragement, il résulte que l'injecteur, appliqué comme machine élévatoire dans les cas ordinaires, donnerait à peine en effet utile quelques centièmes du travail dépensé.

M. Roy appelle l'attention sur une différence considérable de rendement entre deux injecteurs de même force établis l'un au chemin de fer de Lyon et l'autre au chemin de fer d'Orléans. Le premier élève l'eau à 3^m 00 dans la chaudière et ne produit que 40 litres par minute; le second, qui reçoit l'eau avec charge, en injecte 80 litres avec la même dépense de vapeur.

M. Brull indique que deux injecteurs établis sur des locomotives à marchandises du chemin de fer du Nord ont donné de bons résultats à la condition de ne pas trop réchauffer l'eau du tender; si l'alimentation était faite avec de l'eau déjà chaude on ne pourrait plus réchauffer et on serait ainsi exposé à perdre une certaine quantité de vapeur.

M. Goschler répond que les mécaniciens doivent conduire leur feu de façon à éviter de réchauffer; cette opinion est partagée par M. Roy, qui fait supprimer le réchauffeur dans deux machines qu'il fait construire, et les remplace par un simple souffleur.

M. Tardieu est d'avis que l'eau élevée par un injecteur, à faible hauteur des réservoirs du chemin de fer n'aurait pas une température élevée.

M. Brull calcule, en prenant comme base la théorie de M. Combes, qu'un kilogramme de vapeur injectant de 10 à 15 kilogrammes d'eau, il faudrait, à raison de 9 kil. de vapeur par kil. de charbon, environ 10 kil. de combustible par mètre cube d'eau.

En terminant la discussion, M. Faure, se joignant à M. Goschler, exprime le désir que les ingénieurs qui ont l'occasion d'appliquer l'injecteur veuillent bien communiquer à la Société le résultat de leurs observations pratiques sur cet appareil.

L'intérêt qui s'y attache est assez grand pour que l'on comprenne l'utilité de ces documents pratiques appliqués à un appareil dont la théorie exacte est certainement difficile et délicate.

M. le président rend un compte très-sommaire d'un appareil propulseur imaginé par M. Hervier, et qui vient d'être appliqué à une grande péniche pouvant porter un chargement de 200 tonneaux.

Une très petite machine à vapeur horizontale de 6 chevaux, installée à l'arrière sur le pont, et desservie par un générateur tubulaire à retour de flamme de M. Chevalier de Lyon, donne le mouvement à un arbre moteur. Les manivelles de ce dernier, combinées avec deux autres manivelles, font tourner deux triangles articulés qui se meuvent dans deux plans verticaux,

l'un à tribord, l'autre à babord. Le grand côté, ou la base de chacun des deux triangles articulés, porte à chacune de ses extrémités une palette ou aube, convenablement courbée pour atténuer les chocs d'entrée et de sortie du liquide dans lequel se meut la palette. En somme, on peut se faire une idée assez exacte de ce propulseur en le comparant à deux éléments de roues à palettes mobiles. Cet agencement, non moins original qu'ingénieux, a été conçu par M. Hervier pour répondre à une donnée toute spéciale qu'il importe de signaler.

Faire marcher à petite vitesse, 3 kilomètres à l'heure, des péniches de grande longueur, du port de 200 tonnes, avec un moteur mécanique dont l'installation puisse être faite sur les péniches ordinaires, à un prix des plus réduits (12,000 à 15,000 francs), en n'apportant au bateau qu'une facile modification dans ses façons d'arrière.

La question ainsi et très-rationnellement posée intéresse vivement le commerce des houilles en particulier. Aussi, M. Faure a demandé à M. Hervier, et celui-ci a bien voulu promettre une note détaillée sur son nouveau propulseur. Les expériences faites, et notamment celle à laquelle assistait M. le Président, ont fait voir qu'avec la toute petite machine, de 6 chevaux, on arrive à des vitesses de 5 kilomètres à l'heure, la péniche étant chargée de 120 tonnes.

MM. Demeule, Despres, Cournerie, Fallenstein, Lafon et Lemonnier, ont été reçus membres de la Société.

SÉANCE DU 18 NOVEMBRE 1859

Présidence de M. Faure.

Après la lecture du procès-verbal, M. Tronquoy fait observer que le chiffre indiqué pour la résistance des aciers dans le livre de M. Love, et sur lequel MM. Gouvy ont élevé une réclamation, n'a été donné par M. Love que pour montrer sous quelle faible charge les aciers peuvent rompre quelquefois.

M. le Président explique que MM. Gouvy n'ont voulu élever aucune réclamation, mais qu'ils sont simplement venus demander qu'à côté du chiffre minimum cité par M. Love, on voulut bien donner les chiffres moyens et maximum de résistance des aciers de leur fabrication ; il ajoute qu'il est trop jaloux de conserver à nos discussions une liberté entière, pour admettre une réclamation sur l'opinion émise par un membre de la Société.

M. Charles Laurent fait l'analyse d'une brochure publiée par M. Luigi

Cangiano, ingénieur italien, sur les conditions actuelles des eaux publiques et potables de la ville de Naples, et sur les moyens de les améliorer.

Parmi les savants ingénieurs de la ville de Naples, le chevalier Luigi Cangiano, architecte commissaire extraordinaire des eaux de cette cité, est un de ceux qui ont le plus mérité et obtenu l'estime et la confiance de leurs concitoyens. Savant du savoir d'autrui, et surtout de son savoir propre, il expose, dans une brochure dont nous remettons un exemplaire à la Société, l'état actuel des eaux publiques de la ville de Naples.

Nous avons pensé que la faveur avec laquelle ont été reçues les communications qui ont eu lieu sur des sujets analogues nous autorisait à faire celle-ci, en choisissant les points les plus saillants de cette remarquable étude. Elle renferme d'ailleurs, en dehors du point de vue historique de la question, une série de faits relatifs à l'existence des sources, aux accidents qui peuvent paralyser, soit leur expansion au sol, soit leur écoulement régulier dans les canaux chargés de les faire parvenir aux lieux de distribution. Des descriptions minutieuses, dignes d'être connues, nous ont semblé devoir être conservées avec toute l'originalité d'une traduction à peu près littérale.

M. Cangiano examine d'abord l'état actuel des eaux potables fournies par la Bolla et le Carmignano, les deux sources principales de l'alimentation de la ville de Naples. Il constate que les travaux de recherches et de conduites ont subi des modifications ou des dégradations telles, qu'il est grand temps de chercher l'origine du mal et les moyens d'y remédier.

L'eau de la Bolla est admirablement recueillie dans une série de canaux souterrains successivement établis le long de la partie relevée de la plaine de ce nom, qui s'étend au pied nord de la montagne de la Somma. Ces différents canaux souterrains se réunissent dans un lieu que l'on désigne sous le nom de ***casa dell'acqua*** (maison de l'eau).

Ces canaux constituent un immense et profond drainage pratiqué dans des alluvions vésuviennes, tantôt à l'état de sables, tantôt à l'état de conglomérat solide ou tuf. Quelques-uns de ces canaux remontent, dit-on, au temps de l'antique Naples.

L'eau sort en abondance soit des sables, soit des fissures du sol à la partie inférieure des travaux, elle est dirigée comme nous l'avons dit, vers la casa dell'acqua, d'où elle s'échappe au dehors par un déversoir en marbre situé à 18^{m} 50 au-dessus du niveau de la mer.

Un diviseur sépare l'eau en deux branches, dont l'une est l'origine du fleuve Sebeto, qui, après de longs détours dans la plaine de la Bolla et dans les marais qui suivent, se jette dans la mer, après avoir toutefois activé onze moulins, et dont l'autre, reçue dans un canal vouté et stuqué, est conduite à Naples pour les concessions d'eau dans la partie édifiée sur l'emplacement de Naples antique. Cette seconde branche anime sur son parcours la fabrique royale d'armes, sept moulins de propriété privée, etc. ; à son entrée dans la ville, elle alimente encore neuf moulins, vingt-cinq fontaines publiques, des forts et des casernes, etc.

M. Cangiano constate ensuite les variations successives que l'eau a subies

à différentes époques, variations indiquées d'une manière certaine par la hauteur qu'elle a tenue sur le seuil du diviseur dans la casa dell'acqua.

Ces variations ont presque toujours été attribuées à une diminution dans la quantité de pluie tombée sur la plaine de la Bolla. M. Cangiano réfute victorieusement cette assertion par des documents officiels, et en revient à une opinion émise dès l'année 1830, par Théodoro Monticelli, célèbre naturaliste napolitain, qui, par intuition, avait deviné que la diminution d'eau devait provenir de stalactites calcaires qui se formaient sur les surfaces qui laissent distiller l'eau, ou dans les fissures d'où elle jaillit.

Cette opinion fut vérifiée et on reconnut qu'effectivement une stalactite calcaire se formait sur le sol et à la partie inférieure des parois des canaux et des grottes souterraines creusées latéralement dans le but d'augmenter les surfaces de production d'eau. On enleva cet obstacle, et pour un certain temps les eaux reprirent leur écoulement normal ; mais on reconnut bientôt que le remède employé ne pouvait se renouveler souvent sans entraîner des dommages beaucoup plus graves.

Après avoir examiné comment se forme cette stalactite calcaire et les dégâts causés par son enlèvement, M. Cangiano observe la manière dont l'eau arrive à se faire jour par les travaux souterrains, il énonce aussi, comme causes additionnelles de diminution ou de changement dans le jaillissement de l'eau, les fréquentes éruptions du Vésuve, et étudie les circonstances de ce phénomène sur les couches aqueuses, ainsi que les perturbations qu'elles ont à subir des tremblements de terre si fréquents dans cette contrée.

Pour obvier aux inconvénients actuels, après s'être étendu sur les lois hydrostatiques sous lesquelles les eaux s'insinuent dans les fissures du terrain et en jaillissent ensuite, l'auteur de cette notice conclut que si l'eau sortant du sable, au lieu de s'insinuer et de circuler par un chemin difficile, n'avait au contraire qu'à parcourir des conduits larges et perpendiculaires à sa masse, son volume serait plus abondant et son écoulement perpétuel. Il propose donc des forages et examine les conditions de leur exécution.

Au commencement du XVII[e] siècle, malgré la mortalité causée par la guerre et la peste, la population de la ville de Naples s'élevait à 230,000 habitants ; elle souffrait alors du manque d'eau potable et de farine, parce que, bien que le grain fût abondant, les moulins de la ville ne pouvaient moudre faute d'eau, seul moteur connu à cette époque.

César Carmignano, en suite de traités, entreprit en 1629 la construction d'un aquéduc qui porte son nom. Cet aquéduc a son origine dans le fleuve Faenza, et sur son parcours reçoit en addition le trop plein des eaux du château de Caserta.

Ici encore, bien que d'après son origine il semblait que l'eau dût toujours arriver abondante à la ville de Naples, il n'en fut pas ainsi ; M. Cangiano développe les causes naturelles et particulières qui influent sur l'abondance ou la diminution dans le volume de l'eau reçue dans le canal de Carmignano. Il examine donc les diverses formations géologiques qui constituent le bas

sin où prennent naissance les sources des différents ruisseaux tributaires du fleuve Faenza.

Les tremblements de terre viennent encore modifier le régime des eaux qui circulent dans les nappes souterraines; il est probable que là comme pour les eaux de la Bolla se trouve une des causes naturelles des variations de régime dans l'écoulement naturel; puis viennent ensuite les circonstances accidentelles qui résultent des entraves apportées à l'écoulement par l'industrie humaine.

D'après les connaissances que les forages pratiqués à Naples ont fourni sur la formation des terrains subapennins et du macigno, ainsi que sur la force d'ascension que les différentes nappes d'eau possèdent pour s'élever à la surface du sol et y jaillir, M. Cangiano pense que l'on peut obtenir, en creusant des puits à travers les terrains identiques qui forment le bassin en question, des eaux dont l'écoulement aurait une constance immuable.

Il y aurait encore un avantage très grand dans la limpidité et la pureté des eaux ainsi obtenues, avantages qu'il fait ressortir surtout en énumérant les nombreuses causes d'altération qui en ce moment assiégent les eaux du Carmignano.

Enfin ce projet s'occupe des rectifications importantes à apporter au parcours de ce canal, dont l'eau se jetterait dans une tour réservoir, d'où on la distribuerait dans la ville pour les besoins de la population et dans le canal des moulins; l'auteur fait ressortir les nombreux avantages que la ville de Naples retirerait de l'exécution des travaux projetés, et je crois que l'accueil fait au travail en question par tous les hommes animés du bien public est un sûr garant de sa bonne conception.

M. Alcan rend compte de ses visites à l'exposition de Rouen.

Il commence par signaler un premier fait qui l'a frappé : c'est que cette exposition, comme celle de Bordeaux, était relativement incomplète, et on était loin d'y trouver tout ce qu'on était en droit d'espérer. Ainsi peu d'industries du département du Nord étaient représentées à Rouen. On a dit pour expliquer cette abstention, que les fabricants du Nord craignaient de voir leurs produits imités par ceux de Rouen. Cette raison n'est pas sérieuse, car tous ces fabricants sont venus exposer à Paris.

La véritable cause est autre : les expositions de province ne peuvent offrir la publicité de celle de Paris, et les récompenses sont supposées n'avoir pas la même valeur. Il y a donc nécessairement une limite à l'importance des expositions régionales.

M. Alcan passe en revue quelques uns des produits exposés à Rouen. Il signale les belles pièces de forge provenant de la forge Laubenière, parmi lesquelles se trouvait un arbre de 20^{m} de longueur sur 0,70 de diamètre; des tuiles plates en fonte renforcées par des nervures bien disposées, et destinées à remplacer les ardoises; de magnifiques pièces de cuivre provenant des usines de Romilly.

Une machine à vapeur horizontale à deux cylindres à détente variable et à condensation, exposée par un constructeur de Rouen, ce qui est d'autant

plus remarquable que jusqu'à présent les filateurs, en Normandie, n'ont admis que les machines verticales. Cette machine horizontale essayée au frein a donné de bons résultats.

Des appareils exposés par la maison Cail ; des pièces détachées de machines présentées par M. Mazeline, du Havre, parmi lesquelles une beille de 3,000 k., un arbre de 16 à 17,000 k. et un tiroir.

La machine à scier les bois courbes de M. Normand, qui avait déjà figurée à l'exposition universelle en 1855, et dont l'importance est de plus en plus appréciée.

Une machine à graver les rouleaux, marchant par l'électricité.

Un métier à filer de 1,200 broches du système Mull-Jenny self-acting. Tout en reconnaissant ce qu'il a fallu dépenser de puissance de combinaison pour arriver à faire marcher avec précision des machines aussi compliquées et présentant une aussi grande multiplicité d'organes, et en admettant que la substitution de ce système, entièrement automatique, à celui qui ne l'était qu'en partie, offre des avantages économiques, M. Alcan pense que l'industrie s'engage dans une voie qui ne doit pas avoir un long avenir. La complication même des organes des métiers self-acting anglais et français, qui fait en quelque sorte l'admiration du public, doit leur être opposée comme un indice de la fausse direction dans laquelle on est. La machine de Marly était compliquée aussi et admirée. Tous les esprits judicieux applaudissent à la simplicité et à l'efficacité des moyens qui l'ont remplacée.

Il en sera un jour de même de ces monstrueuses complications d'un métier à filer, chargé pour tous efforts de faire glisser quelques fibres délicates pour en former un ruban, et de tordre celui-ci pour le transformer en fil. Le métier continu, si simple et si rationnel dans sa conception, est évidemment destiné à produire cette révolution dans le filage. Il suffira pour cela de le modifier dans certaines de ses parties, modifications qui ne tarderont pas à se réaliser, l'on peut s'en convaincre par ce qui a déjà été tenté dans cette voie. Naguère encore le seul métier possible pour filer la laine cardée était également le Mull-Jenny. Or voici qu'une amélioration dans le système continu en a fait le meilleur des métiers à filer, le plus simple, le plus économique, et celui qui donne les produits les plus réguliers. Aussi ces avantages ont-ils été reconnus par une médaille d'or à l'exposition de Rouen.

La carde à coton tant étudiée, tant modifiée, au point qu'on pouvait la supposer arrivée à toute sa perfection, a donné lieu cependant à des modifications très-remarquables, pour lui faire produire le double d'un travail plus parfait que celui qu'on obtient à l'ordinaire. Une disposition très-rationnelle pour obtenir le débourrage automatique permet d'avoir les surfaces cardantes constamment en un excellent état de pureté ; ce résultat, joint à un moyen d'alimentation qui n'expose pas les garnitures et permet d'augmenter les quantités livrées à la carde, rendent compte des résultats avantageux. Quant au mécanisme déboureur de cette carde, une description succincte peut en faire saisir le principe. Il consiste dans la substitution de cylindres à dents, de cardes à mouvement très-lent et progressif, aux chapeaux fixes du système ordinaire.

Ces cylindres chapeaux amènent à chacune de leurs révolutions la bourre à la partie supérieure du cylindre opposée à celle du gros tambour, d'où une plaque de carde déboureuse, à mouvement alternatif de va et vient, enlève spontanément la bourre et les corps étrangers.

Ce système de carde, examiné dans ses éléments isolés, n'est pas précisément nouveau, mais leur grouppement, les modifications de mouvements et de réglements, peuvent faire classer cette invention au nombre de celles qui, par des moyens connus, arrivent à des résultats nouveaux.

La machine à préparer, si simple, depuis longtemps connue sous le nom de Rota-frotteur, appliquée en Normandie, pour la transformation du coton ordinaire, a été également l'objet de perfectionnements intéressants, qui permettent non-seulement de recevoir le fil ébauché dans des pots comme par le passé, mais de le transformer en bobines serrées et condensées, comme celles des bancs à broches employés partout pour les fils fins, et exclusivement en Alsace et dans le Nord pour toutes espèces de préparations (car on n'a jamais voulu y adapter les Rota).

Ce nouveau pas fait dans l'amélioration du Rota, d'un emploi si économique (1), étendra probablement leur usage pour la préparation des fils de n^{os} ordinaires.

Des perfectionnements très-remarquables sous le rapport de la précision ont été apportés aux machines à aiguiser les rubans de cardes, et dans les machines à *bouter* ces rubans; il faudrait pouvoir entrer dans des détails plus longs, pour caractériser ces progrès.

Au nombre des différents métiers à tisser exposés, M. Alcan en signale un surtout; c'est un métier à tisser les rubans, permettant d'en multiplier considérablement le nombre. L'inventeur ayant eu l'ingénieuse idée de disposer les rubans de champ au lieu de les placer de face sur le métier, il leur a par conséquent fait faire en quelque sorte volte-face. Il en est résulté des changements de dispositions dans tous les autres organes du métier, tels que *peigne, lisses, battant*, etc., qui permettent de tisser sur un métier à la barre ordinaire, en moyenne, un nombre de rubans quatre fois plus grand, avec la même force motrice et les mêmes frais de main-d'œuvre que pour une production ordinaire.

Ce résultat pourra avoir une influence sur la fabrication de la rubannerie à bas prix, de toutes natures, dans laquelle l'étranger, et surtout l'industrie allemande, nous fait une si rude concurrence.

Le vieux et admirable métier classique à faire les bas, dit *métier droit* ou système français à faire le tricot, semble entrer dans une voie nouvelle. L'exposition en présentait un qui tricotait simultanément et automatiquement 4 pièces ou 4 bas à la fois. Les rétrécissements et les lisières s'exécutaient avec une précision remarquable, et sans autre concours que celui de la courroie de la poulie motrice, une fois le métier convenablement réglé. La bonneterie, qui a déjà réalisé tant de progrès qui permettent de donner de bons produits à des prix fabuleusement bon marché, n'a donc pas encore atteint son apogée.

(1) Voir, pour les détails de ces machines, l'ouvrage sur les matières textiles de M. Alcan.

Enfin, l'invention qui a causé le plus de sensation à l'exposition régionale de Rouen, était, sans contredit, la fameuse machine à feutrer les fils de laine. Cette machine prend la substance à la sortie de la carde, la roule, l'étire, la condense et la fait adhérer par le feutrage, pour en former un fil d'une perfection bien plus grande que ceux produits au métier à filer. Ceux-ci se trouveraient donc désormais supprimés dans le filage d'un grand nombre d'articles en laine cardée.

Ce résultat est obtenu en réalisant une économie sensible de main-d'œuvre, avec une promptitude de production remarquable, sans occasionner de déchet, et sans nécessiter la dépense d'huile indispensable dans le filage ordinaire. Le principe nouveau permet en outre la production de fils d'un caractère particulier, sans précédent, d'une ressource nouvelle pour les articles façonnés dits nouveautés. Aussi, cette invention, réalisée au milieu de la contrée industrielle la plus apte à juger de ses avantages, a-t-elle obtenu la récompense la plus élevée dont le jury disposait; et le fabricant qui le premier a mis ces fils en œuvre pour arriver à des tissus qui ont été admirés par toutes les personnes compétentes a-t-il été décoré de la croix de la légion d'honneur.

Si de l'exposition des machines on passe à celle des étoffes, il suffira de dire, pour faire comprendre son importance, qu'elle pouvait sous tous les rapports être comparée aux belles expositions nationales de Paris. Elbeuf, Louviers, Lisieux, Vire, la Picardie, Rouen et ses environs, certaines industries du Nord, etc., y brillaient par le nombre et la perfection de leurs produits.

Tout indiquait un progrès à ceux qui pouvaient examiner avec connaissance ces divers articles, dont l'analyse serait difficile à faire ici sans s'exposer à des répétitions sans nombre; car partout les produits frappaient les regards par la bonne exécution, le bon goût des dispositions, la fraîcheur et la solidité des nuances, la souplesse, la bonne entente des apprêts, etc. En un mot, sous le rapport des tissus, l'exposition a été complètement digne de la vieille réputation des centres manufacturiers dont elle mettait les produits en évidence.

L'on peut dire en résumé que, malgré le nombre et le rapprochement des expositions régionales, chacune d'elle révèle des progrès sensibles, et toutes font présumer que la première grande exposition parisienne à laquelle nous assisterons sera la plus remarquable de toutes.

L'heure avancée oblige M. Alcan à renvoyer à une prochaine séance, la suite de son intéressante communication.

SEANCE DU 2 DÉCEMBRE 1859.

Présidence de M. FAVRE.

Après la lecture et l'adoption du procès-verbal de la séance du 18 novembre, M. Benoît-Duportail fait connaître une lettre de M. Laubenière, rela-

tive à la communication précédemment faite à la Société, sur le mode de fabrication des essieux coudés, imaginé par cet habile industriel. M. Laubenière pense qu'il importe de faire remarquer que l'on a donné à tort le nom d'*étampe* à l'appareil spécial au moyen duquel il arrive à courber les fibres du fer dans sa fabrication d'essieux. Cet appareil agit exclusivement par voie de pression graduée.

M. de Dion lit une note sur les éboulements des falaises de la Manche, et sur les observations qu'il a pu faire récemment à Port-en-Bessin, à la suite d'un de ces remarquables accidents.

En réponse à quelques questions faites par M. Ch. Laurent, M. de Dion ajoute des explications verbales, desquelles il résulte que les falaises sont formées de calcaire de Bayeux, reposant sur les argiles du lias; il ne pense pas que le plan de glissement soit situé à la base de l'argile; celle-ci s'étendant à plus de 180^m au delà du pied de la falaise, présente, sur une hauteur de 35^m, une masse qui s'opposerait certainement à un mouvement de cette nature, et il est probable qu'une partie seulement de la couche est déplacée.

M. le Président remercie M. de Dion pour cette communication intéressante, non-seulement par les observations qu'elle fait connaître, mais encore par l'explication neuve et rationnelle qu'elle donne d'un phénomène géologique, peu étudié encore.

Il pense que la très-prochaine publication dans le bulletin des observations présentées par M. de Dion sera chose utile, au moment où la question des érosions de rives des cours d'eau préoccupe les géologues.

M. Ermel développe des observations théoriques et pratiques sur l'injecteur alimentaire de M. Giffard. Obligé de passer rapidement sur le mode d'établissement de ses équations, M. Ermel insiste seulement sur les conclusions qu'il s'est cru forcé d'en déduire.

M. Faure constate d'abord qu'une discussion approfondie ne saurait avoir lieu aujourd'hui, parce que nul n'a pu, sur une première audition, se rendre un compte suffisamment exact des idées théoriques qui ont guidé M. Ermel, et des conséquences analytiques auxquelles il a été conduit. Il fait ensuite remarquer à M. Ermel que sa théorie ne semble pas avoir tenu compte de l'influence de certaines dispositions plus ou moins essentielles de l'injecteur; telles que, notamment, l'emploi des deux cônes, l'un convergent, l'autre divergent, la solution de continuité qui précède le cône convergent, etc.; toutes conditions qui semblent devoir modifier dans un sens favorable les résultats indiqués par M. Ermel. En outre, est-il exact d'appliquer la théorie du choc, tel qu'il peut avoir lieu à la mise en train, à un appareil dans lequel le mouvement est établi et se continue? enfin, est-il exact encore de calculer le débit de vapeur, et par suite la section du jet de celle-ci, en prenant pour base la température et la tension de la vapeur dans le générateur?

M. Ermel ne pense pas que l'évasement plus ou moins prolongé du cône divergent, puisse influer sur la marche de l'appareil ; le second choc qu'il a considéré dans sa théorie se produit à l'entrée même de ce cône ; d'ailleurs, il croit que dans quelques injecteurs récemment construits, on a réduit presqu'à rien le cône divergent. Quant à l'allongement du cône convergent au-delà de l'orifice de la tuyère, M. Ermel pense que cette disposition a pour objet de prolonger le contact de l'eau froide avec la vapeur, afin de compléter la condensation de celle-ci par un étirage de la veine fluide.

M. Girard remarque que, dans la théorie qui vient d'être exposée, on ne retrouverait, à la sortie de l'injecteur, que la moitié de la quantité de chaleur que la vapeur y a apportée ; il y aurait lieu d'indiquer ce que devient la chaleur qui serait perdue.

M. Ermel croit que la chaleur perdue est absorbée par le travail mécanique des chocs et vibrations qui ont lieu dans l'appareil.

M. de Dion n'admet pas cette explication ; on ne connaît en physique que deux modes de transport de la chaleur : la transmission appréciable au thermomètre et le passage à l'état latent ; si donc l'on considère l'appareil comme renfermé dans un espace circonscrit, qui ne reçoit et n'émet pas de calorique, et qu'on ne retrouve à la sortie de cet espace que la moitié de la quantité de chaleur qu'on lui a confiée, l'autre moitié s'y accumulerait indéfiniment ; il est donc indispensable que l'eau entraîne toute la chaleur contenue dans la vapeur, sauf les très-légères pertes provenant du défaut d'isolement de l'appareil.

M. Boivin remarque qu'une partie, au moins, du travail absorbé par l'appareil est employée utilement à imprimer à la masse d'eau d'alimentation d'abord au repos la vitesse nécessaire à son introduction dans la chaudière.

M. Arson indique l'application de l'injection au mouvement des gaz ; il a commencé à s'occuper de cette question, qu'il croit intéressante.

M. Faure répond que déjà Mannoury-Dutot, et d'autres après lui, ont étudié des appareils fondés sur le même principe et destinés à produire le mouvement des gaz. Revenant, d'ailleurs, sur les questions soulevées déjà par quelques membres, il fait remarquer qu'elles se lient étroitement à un sujet qui préoccupe fortement les physiciens, l'équivalent dynamique de la chaleur. Ce terrain délicat ne doit pas être abordé à l'improviste, si les uns ou les autres ne veulent pas s'exposer à émettre des idées qu'ils auraient à modifier ultérieurement.

Il croit donc qu'il serait prudent de ne pas engager davantage la discussion sur la note de M. Ermel, avant que chacun de nous ait pu étudier à fond la note présentée par notre collègue. D'ailleurs, il convient que M. Giffard soit avisé d'une discussion qui l'intéresse avant tout autre, et

sur laquelle cet inventeur pourrait apporter des observations, déjà nombreuses, sans doute, des résultats d'expériences.

Sur ces observations, il est décidé que le travail de M. Ermel sera imprimé et distribué, comme annexe au procès-verbal, toute discussion, toutes opinions restant expressément réservées.

MM. Mallet, Paul et Sulzberger, sont nommés membres de la Société.

SÉANCE DU 16 DÉCEMBRE 1859.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE.

Présidence de M. FAURE.

La parole est donnée à M. LOUSTAU, trésorier, pour l'exposé de la situation financière de la Société.

LE PRÉSIDENT adresse au trésorier, au nom de la Société, des remerciments pour sa bonne et active gestion.

Il est ensuite procédé aux élections.

Les élections ont donné le résultat suivant :

BUREAU.

Président : M. Vuigner (Emile) O ✻.

Vice-Présidents : MM. Flachat (Eugène) O ✻.
Forquenot.
Petiet (Jules) O ✻ ✻ ✻ ✻
Laurens ✻.

Secrétaires : MM. Peligot (Henri).
Guillaume.
Yvert (Léon).
Tronquoy (Camille).

Trésorier : M. Loustau (Gustave) ✻.

COMITÉ.

MM. Degousée ✻.
Faure (Auguste) ✻.
Alcan (Michel) ✻.
Callon (Charles) ✻.
Salvetat ✻.
Thomas (Léonce) ✻.
Arson.
Chobrzynski ✻.
Laurent (Charles).
Bergeron.

MM. Alquié.
Mathias (Félix) ✻ ✻ ✻ ✻
Yvon-Villarceau ✻ ✻.
Barrault (Alexis) ✻.
Mathieu (Henri).
Trélat (Emile) ✻.
Nozo (Alfred) ✻ ✻.
Houel ✻.
Molinos (Léon).
Love.

NOTE sur le curage et l'entretien des cours d'eau industriels qui ne sont ni navigables, ni flottables.

Par M. C. Boudard aîné.

I. — *De l'influence de la position des usines sur l'entretien des cours d'eau.*

Il arrive le plus souvent que les usines dont les opérateurs sont actionnés par des moteurs hydrauliques se trouvent sur des cours d'eau qui ne sont ni navigables ni flottables, et dont la police est par conséquent moins sévère que celle des grands cours d'eau.

Quand les usines reçoivent leur puissance motrice de l'un de ces derniers cours d'eau, elles sont établies sur une dérivation, soit bras naturel, soit canal creusé de main d'homme, et prennent une partie de l'eau de la grande artère en amont de l'usine et la rendent en aval, après avoir utilisé par une chûte la différence de niveau entre ces deux points, moins la pente nécessaire pour amener l'eau au repère de l'usine, et celle nécessaire à son écoulement depuis le dessous du moteur jusqu'à sa rentrée dans l'artère navigable. Or, comme ces deux pentes diminuent d'autant la chute utilisable, les ingénieurs ont tout intérêt à faire les biefs de dérivation aussi courts que possible pour une chûte don-

née, c'est-à-dire, les points où l'on prend l'eau et où on la rend étant déterminés, à rendre la plus surbaissée possible la courbe résultant de ces deux points, et de la position de l'usine.

Supposons donc une usine établie dans ces conditions; deux cas se présentent :

Ou le canal d'alimentation a été creusé de main d'homme, et, dans ce cas, sa pente est uniforme, tant en amont qu'en aval de l'établissement; sa section est de forme géométrique régulière et constante, et de plus calculée de façon à livrer passage à l'écoulement des plus fortes eaux, sans que celles-ci noient les moteurs en aval, au point de forcer à un chômage plus ou moins long, sous peine de les détruire rapidement par la fatigue qu'ils éprouvent à relever l'eau en aval, si ce sont des moteurs à axe horizontal.

Ou encore, l'usine a pu être établie sur un bras naturel, mais non navigable du cours d'eau, et ce cas retombe dans le précédent, car la section du bras a pu être rendue régulière, et, en tout cas, elle est facile à maintenir libre, vu le peu de longueur du bras.

Enfin, la police de l'artère navigable étant sérieusement faite, sa section étant maintenue uniforme par l'administration au moyen de curages, l'usinier n'a pas à craindre l'exhaussement du lit du cours d'eau principal en aval de son bief, ni par conséquent un remous de l'eau produit par le barrage qui en résulterait, et, par suite, une diminution réelle de chute en tout temps, et, dans les fortes eaux, les pertes et dommages pécuniaires résultant du chômage forcé.

Il n'en est pas de même pour l'usinier placé sur un cours d'eau qui n'est ni navigable ni flottable.

Jusqu'à ces derniers temps, l'administration ne s'est préoccupée, pour ces cours d'eau, que de régler les repères de chaque usine et de déterminer les cotes de dénivellation du repère de l'usine avec ceux des établissements d'amont et d'aval, ces

cotes comprenant un total constant composé de deux variables :

1° La chute réelle utilisée par l'usine ;

2° La pente nécessaire à l'écoulement de l'eau et à son arrivée au repère de l'usine en aval, c'est-à-dire la hauteur verticale existant entre la surface de l'eau en aval du moteur et le repère de l'usine immédiatement inférieure.

Or, deux causes font varier cette hauteur d'une manière considérable dans les petits cours d'eau, savoir :

1° L'irrégularité de la section du cours d'eau ;

2° Les végétations aquatiques.

II. — *Section variable et végétations aquatiques dans les petits cours d'eau. — Causes premières qui les ont déterminées. — Inconvénients qui en résultent.*

Examinons, dans le cas particulier qui nous occupe, celui de la rivière d'Epte, dans le département de l'Eure, qui fait mouvoir les laminoirs à cuivre et zinc des usines de Dangu, quelles sont les causes qui ont déterminé originairement les inconvénients dont nous parlons.

L'inspection du cours d'eau les fait facilement découvrir.

Ainsi, les berges sont presques toujours à pic et formées, soit de terre végétale, soit d'argile sablonneuse très-aisément affouillable, au point qu'elles sont très-rapidement rongées dans les endroits où l'eau a une assez grande vitesse ; le lit de la rivière se compose, au contraire, d'un gravier très-résistant, qui se retrouve dans la vallée quand on creuse à une profondeur égale à celle de la rivière.

Il est donc évident que le cours d'eau, descendant des plateaux supérieurs du département de l'Oise, a creusé son lit dans les terrains affouillables qu'il a rencontrés dans la zône en question ; qu'il a transporté les terres délayées par les fortes eaux, et que l'action destructive du torrent n'a été vaincue que par la résis-

tance du gravier sur lequel repose la couche supérieure du terrain.

En outre, cette couche de gravier n'est pas uniformément inclinée, quoique sa pente générale soit celle même du thalweg; elle est ondulée, tantôt se rapprochant, tantôt s'éloignant de la surface du sol des deux rives, et, comme c'est elle qui a déterminé le lit du courant par sa résistance à la force d'entraînement des eaux, la profondeur de la rivière est très-variable; et si, à certains endroits, le gravier se trouve à 3 mètres au-dessous de la surface de l'eau, dans d'autres il n'en est pas à plus de 60 centimètres.

Il a donc existé, sur ces derniers points, de véritables barrages naturels, et, comme la largeur du cours d'eau était à peu près uniforme, sa section s'est trouvée, en ces points, très-diminuée et incapable de suffire à l'écoulement dans les fortes eaux, sans que le niveau de celles-ci s'élevât beaucoup.

Or, voici les effets qu'ont produits, à la longue, les deux causes précitées.

Pendant les crues, la section ne pouvant suffire au passage des eaux, celles-ci s'élevaient en amont, produisaient une charge donnant une grande vitesse à l'écoulement, et les berges en terre affouillables se trouvaient entraînées, soit d'une seule rive, soit des deux, suivant que la forme et la position du bas-fond en gravier rejetaient les eaux sur une seule rive ou sur les deux.

De là résultent des baies que l'on voit en suivant le cours d'eau, baies formées aux dépens des propriétés riveraines, et dont la présence indique d'une manière certaine qu'il y a une digue naturelle sous l'eau, quelle est l'inclinaison de son arête d'aval par rapport à l'axe du courant, et sur quelle rive elle est le plus près de la surface de l'eau.

Si, par exemple, G est la baie dont nous parlons (fig. 1re, planche 11), il y a une digue en amont; son arête d'aval est en C D, et elle penche de D en C; l'eau arrivant d'amont passe

faiblement en D, et est au contraire rejetée en C sur la partie la plus basse du barrage ; elle prend avec une grande vitesse la direction A M, et, battant la rive primitive B E, la ronge et la délaie jusqu'à ce qu'elle se soit fait un passage en formant le golfe B G E.

De plus, les terres du golfe G, délayées dans l'eau, sont entraînées en suspension à cause de la grande vitesse du courant en aval de la digue C D, et cela, jusqu'à ce que, arrivant près d'un autre barrage inférieur, la vitesse aille toujours en diminuant, au point d'être très-faible sur la digue suivante, qui peut avoir de 10 à 100 et même 200 mètres de longueur ; alors les terres se déposent sur le bas-fond de cette nouvelle digue, avec les graines et les végètaux qu'elles contiennent. Puis, lorsque viennent les basses eaux de l'été, les digues se trouvent recouvertes de 0 m. 30 à 0 m. 50 d'eau; et, sous les influences favorables de la terre végétale qui recouvre le gravier, de la température douce de l'eau, et de la lenteur du courant, (la section suffisant, à cette époque, au débit du cours d'eau), il se forme une quantité considérable de végétations aquatiques qui ralentissent encore le cours de l'eau. S'il survient alors un orage, les eaux, devenues limoneuses, arrêtées par cette sorte de crible, y déposent une partie de leur limon; de sorte que ces digues s'augmentent en hauteur verticale et en longueur dans le sens de l'axe du cours d'eau ; puis, quand viennent les fortes eaux de l'hiver, la terre, le gravier et les végétaux, forment un ensemble feutré et résistant qu'elles ne peuvent plus arracher ; elles s'élèvent donc au-dessus de la hauteur nécessaire à leur écoulement.

Aussi voit-on les chûtes des usines diminuer chaque année dans la saison des bonnes eaux moyennes, par cet exhaussement lent des eaux d'aval résultant de celui des barrages naturels; et dans la mauvaise saison, les moteurs sont noyés en aval, ce qui force à de longs chômages ; enfin, même dans les temps de sécheresse, l'eau d'aval est retenue trop haut, et la chûte est diminuée

au moment même où la puissance motrice est déjà réduite par suite de la diminution du volume d'eau. Ainsi, supposons qu'une usine A ait son niveau d'amont en *a* (fig. 2, pl. 11). Une usine B, qui s'établirait en amont de celle-ci, serait forcée de placer son niveau d'aval en *b* à cause des rades ou barrages C et D; tandis que, si, par un curage primitif, on avait donné au profil en long le tracé uniforme *g g'*, elle aurait pu gagner la chûte *b b'*.

Mais, ce qu'on eût dû faire d'abord, on peut encore le faire après; et, par la suppression des barrages naturels en aval, augmenter la chûte des moteurs, ce qui donnera une plus grande puissance si on veut les modifier de manière à utiliser cette augmentation de chute, ou ce qui, sans rien changer dans les cas de rivières dont le niveau est très-variable, fera perdre de la chute en été, mais mettra l'usinier à l'abri des chômages d'hiver causés par l'immersion des moteurs en aval.

III. — *Application des notions précédentes aux usines de Dangu.*

C'est ce que nous venons de faire pour l'usine de Dangu, située sur la rivière d'Epte, cours d'eau à volume très-variable, qui, sous une chute de 1 m. 60 c., fournit aux opérateurs une puissance mécanique qui varie entre 60 et 120 chevaux-vapeur, ce qui suppose pour la chute ci-dessus un volume de 2 m.c.. 812 à 5 m. c.. 624.

Quatre bas-fonds existaient sur une longueur de treize cents mètres en aval de l'usine. Un de ces bancs avait environ 140 mètres de longueur, et la rivière en amont de ce barrage s'était ouvert un bras véritable, et avait détaché de la terre ferme une île d'environ 15 mètres sur 60 mètres; sur les 140 mètres, l'eau courait avec une grande vitesse sur une pente rapide avec seulement 30 à 40 centimètres d'eau en aval de la crête du barrage, tandis qu'en amont elle paraissait calme comme celle d'un lac et avait beaucoup plus de profondeur.

Nous avons enlévé à la drague la partie surélevée; l'effet produit a été considérable, comme on devait s'y attendre. D'abord le bras, que s'était creusé la rivière retenue par le barrage, a été complètement mis à sec par l'abaissement du niveau de l'eau ; l'île a été rendue à la prairie voisine, dont le propriétaire à gagné une superficie de 1,200 mètres carrés environ par la mise à sec du bras ci-dessus ; de plus, l'île a été réunie à la terre ferme.

Cette grande digue étant la plus éloignée de l'usine, c'est par elle que nous avons commencé ; puis, une fois l'eau baissée en ce point, les irrégularités du lit en amont devenant plus sensibles, nous avons remonté au barrage immédiatement supérieur, qui a un profil contraire à celui du précédent, c'est à dire contre-pente douce en amont sur une longueur de plus de 50 mètres en sens contraire de l'écoulement, avec un saut assez brusque en aval; nous avons réglé le lit de la rivière suivant une ligne droite, et, là encore, nous avons mis à sec un bras de 200 mètres de longueur.

Nous avons continué le même travail de barrage en barrage jusqu'au radier des roues; l'effet a été considérable, les radiers sont à sec, l'eau a baissé de 40 centimètres au dessous des moteurs, et nous sommes garantis contre tout chômage résultant des fortes eaux.

Enfin, en modifiant les coursiers des roues et les roues elles-mêmes, on pourrait, si on le voulait, augmenter la puissance motrice de 25 % environ.

IV. — *Le draguage fait une fois pour toutes. — Destruction permanente des végétations aquatiques, mesures prises par l'administration pour l'assurer.*

On comprend que ce travail est fait une fois pour toutes ; en effet, le cours d'eau, ne rencontrant plus d'obstacles à son écoulement, prendra une vitesse uniforme, et les limons se déposeront

uniformément et en très petite quantité à la fois, la surface de dépôt étant très agrandie.

L'agglomération des végétations aquatiques aux endroits les plus favorables à leur développement, tels que les angles intérieurs des coudes où l'eau a moins de vitesse qu'à l'extérieur de la courbe et où le limon se déposerait en plus grande quantité, pourrait seule créer, de nouveau, des barrages.

En effet, ces végétations, qui poussent en quantité prodigieuse et ont des traînes flottantes de 4 à 5 mètres, arrêteraient le limon et reconstitueraient les éléments d'un nouveau barrage.

On ne saurait donc trop se préoccuper de faucher les cours d'eau, et nous employons un ouvrier pendant quatre mois (de mai en septembre), à ce travail. Il commence par le faire sur toute la longueur de la rivière, qui est, comme nous l'avons dit, de 1,300 m. environ, et recommence le fauchage sans interruption, tant les herbes repoussent vite. Ces deux fauchages suffisent, car, passé le mois d'août, les herbes aquatiques ne poussent pour ainsi dire plus. L'entretien coûte 240 francs par an.

On est, de plus, obligé de ne plus laisser aller au courant les herbes coupées, car elles s'accumulaient en quantités immenses aux piles des ponts et aux grilles des usines, à tel point que nous avons vu l'année dernière la rivière couverte d'herbes sur toute sa largeur, de 12 mètres en moyenne, et sur plus de 200 mètres de longueur; l'épaisseur de cette couche d'herbes était de 1 m. environ.

Ces herbes constituent, du reste, un excellent engrais, et hâtent la décomposition des fumiers de ferme. On les place mouillées par couches horizontales, alternées avec les fumiers chargés de litière d'écurie ou d'étable; elles fournissent à la paille l'humidité nécessaire pour hâter sa décomposition sous l'influence de la fermentation de la masse, et dispensent ainsi de l'arrosage des tas de fumiers qu'on est obligé de faire pendant les mois secs, sous peine de ne trouver à l'époque de la fumûre des terres que de

la courte paille toute sèche, nullement décomposée, et qui ne féconderait le sol que l'année suivante.

Nous avons fait nous-mêmes cette expérience avec les masses d'herbes enlevées à la grille de l'usine, et nous en avonsété très-satisfaits.

Le fauchage des rivières et l'introduction des herbes aquatiques dans la formation des composts des fermes constituent donc une richesse réelle pour l'agriculture riveraine.

V. — *Outillage servant au draguage de notre cours d'eau.*

Nous allons décrire maintenant l'outillage simple et presque grossier que nous avons employé pour le curage de notre cours d'eau, le personnel employé à ce travail, son organisation de roulement, et enfin, le prix de revient du mètre cube de déblais retiré du lit du cours d'eau, conduit à son lieu de dépôt et réglé pour le cubage.

Cet outillage se compose essentiellement :

1° *Du bateau dragueur,*

2° *De la drague ou outil dragueur*,

3° *De deux bateaux servant à l'enlèvement et au transport des déblais.*

Le *bateau dragueur* se compose de deux coffres rectangulaires en bois, parfaitement étanches, un à l'avant A, l'autre à l'arrière B, (Pl. 11 fig. 3, 4 et 5), plus petit que celui d'avant.

Ces deux coffres étant bien étanches font flotter tout le système. Ils supportent un châssis rectangulaire en charpente, qui leur est invariablement lié C D E G (fig. 3 à 5); ce châssis porte une charpente H, destinée à supporter le treuil I, qui sert à manœuvrer la drague L au moyen de deux roues J, actionnées par des manœuvres, de la poulie de renvoi K, et des cordages I K L et I L fixés à la drague elle même.

Le châssis porte, en outre, des pièces en porte-à-faux M, suppor-

30

tant sur chaque bord un petit trottoir N N, destiné à l'ouvrier qui manœuvre la drague, et, en arrière du coffre A et du treuil, un plancher P Q sur lequel on renverse le contenu de la drague. (Fig. 3, 4 et 5).

Un ouvrier placé sur ce plancher jette à la pelle les déblais dans le bateau de transport B, amarré au flanc du bateau dragueur, pendant que les autres, tirant au treuil, hâlent la drague, que le chef de l'atelier dirige au moyen d'un manche L R qui lui est fixé, et qui, lui même, est muni d'une poignée S T formant la croix avec lui. (Fig. 3, 6 et 7).

La *drague* proprement dite (fig. 6, 7) est un demi-cône L, en tôle de deux millimètres d'épaisseur, percé de trous nombreux; le bord inférieur de l'outil est déterminé par une section du demi-cône oblique à son axe, ce qui facilite sa pénétration dans le lit de la rivière, puisque, par ce moyen, elle ne l'attaque que sur une petite partie de son périmètre à la fois. Dans le même but, ce bord inférieur est armé de trois fortes dents en fer, qui pénètrent dans le gravier.

VI. — *Roulement du travail.*

Le chef dragueur, placé sur le coffre d'arrière B, plante sa drague dans le fond, de telle manière que le manche en soit vertical; et, pendant que les manœuvres la hâlent au moyen du treuil, il la maintient en marchant le long des trottoirs N, N, en appuyant, d'une main sur la branche interne de la traverse S T, et du genou sur la branche externe, pendant qu'il se soutient de l'autre main au garde-corps qui borde le trottoir; l'inspection de la fig. 3 fera parfaitement comprendre cette manœuvre.

Quand la drague a parcouru ainsi le plus long chemin qu'elle puisse parcourir, sans que l'action des cordages la relève par trop, le chef dragueur s'arrête et saisit la poignée S T des deux mains pendant que les manœuvres hâlent toujours au treuil; la drague pi-

vote autour de sa traverse S T, tenue fixe dans la main du chef dragueur, jusqu'à ce qu'elle se trouve hors de l'eau. Alors, le chef dragueur la poussant en avant par sa poignée tandis qu'on laisse se dérouler les câbles, la drague vient poser sur le plancher P Q, où elle est basculée, pour y déposer environ la contenance d'une brouettée ordinaire de déblais, qu'on jette dans le bateau de transport.

Le chef dragueur ramène alors la drague à l'arrière et recommence à côté ; il drague ainsi dans toute la longueur comprise entre les deux grandes parois du châssis C D E G, et donne au lit du cours d'eau la profondeur régulière qui lui a été assignée sur une certaine longueur *l l'*, après laquelle le terrain se relève jusqu'à l'ancien lit suivant *l' l''*, plus le léger bourrelet *l''* qui est le résultat prévu du travail ; alors, au moyen des cordages 1, 2, 3, et 4, 5, 6 (fig. 3 et 5), il transporte son bateau dragueur parallèlement à lui-même et perpendiculairement au cours d'eau, et recommence à draguer jusqu'à ce qu'il ait creusé sur toute la largeur du lit qui lui a été indiquée.

Ensuite, au moyen du treuil Y (fig. 3 et 5) fixé à l'avant du bateau dragueur, il se hâle lui-même sur le cordage Z Z, amarré d'avance à une cinquantaine de mètres en amont, jusqu'à ce que le devant du coffre d'arrière soit avancé de façon que le chef ouvrier puisse planter sa drague au point *l'*, où le lit du courant n'a pas été réglé par le précédent draguage. La drague alors recommence son travail, et l'on conçoit que, par ce mouvement en travers du lit et ce cheminement en avant, on arrive à régler le fond du cours d'eau à une profondeur donnée et sur partie ou totalité de sa largeur, et, par conséquent, à donner au profil en long du lit une pente régulière. Nous avons ainsi obtenu une profondeur de 1 m. 50 ; et notre outil nous aurait permis d'atteindre jusqu'à 1 m. 70.

Six hommes, dont cinq à 2 fr. 50 et un à 3 fr. 50, manœuvrent l'outil et transportent les déblais. C'est donc une main-d'œuvre de 16 fr. 50 pour un travail effectif de 11 heures, pen-

dant lequel on peut en moyenne enlever, transporter et régler pour le cubage, de 11 à 13 mètres cubes de déblais, transportés à cinquante mètres de distance moyenne en aval, ou à 25 mètres en amont. Du reste, nous avons fait faire ce travail aux pièces et au prix convenu de 1 fr. 40 c. le mètre cube rendu dans les conditions ci-dessus.

VII. — *Durée du travail entrepris à Dangu. Déblais extraits. — Prix de revient du mètre cube.*

La durée du travail a été de 14 mois; nous avons enlevé 3,393 mètres cubes qui, à 1 fr. 40 c. l'un, feraient 4,750 francs 20 c. Nos dépenses totales se sont élevées en réalité, à 6,010 fr. 27 c.; la différence en plus, qui est de 1,260 fr. 07, est représentée par l'achat et le renouvellement des cordages, l'entretien des outils, les diverses plus-values assignées par mètre cube de déblai par chaque distance de 50 mètres de transport en plus des 50 mètres réglementaires, la location de quelques lieux de dépôts, enfin le transport à la brouette de 1,060 mètres cubes qui ne pouvaient rester sur la berge.

Toutes ces dépenses accessoires, font ressortir le mètre cube dragué et définitivement déposé à 1 fr. 77, ainsi qu'il résulte du compte suivant.

VIII. — *Compte des frais du draguage fait aux usines de Dangu, en 1858 et 1859.*

Section I.

Frais principaux.

Art. 1er.

Déblais extraits, mis en bateau, transportés et déposés à 50 mètres de distance moyenne maximum en aval.

3,196 m.c. 360 à 1 fr. 40 l'un,	4,474 fr.	90

Art. 2.

Déblais rendus comme ci-dessus, mais de 50 à 100 mètres de distance moyenne en aval,

88 m. c. 300 à 1 fr. 45 l'un,	128	03

Art. 3.

Déblais rendus comme ci-dessus, mais de 100 à 150 mètres de distance moyenne en aval,

108 m.c. 620 à 1 fr. 55 l'un,	168	36
Total 3,393 m.c. 280 coûtant en principal	4,771 fr.	29

SECTION II.

Frais acccssoires.

Art. 4.

Roulage à la brouette sur terre ferme, de

1° 1037 m.c. au prix convenu de fr. 0. 60 l'un,	634	20
2° 3 m.c. « « fr. 0. 30 «	1	50

Art. 5.

Indemnité pour dégât de fourrage sur une prairie riveraine.	10	»

Art. 6.

Indemnité pour droit de dépôt.	80	»

Art. 7.

1° Travaux à la journée pour réparation des bateaux dragueur et de transports, arrachage de pieux en rivière, etc.	136	18

2° Achat, entretien, et renouvellement de tous les cordages servant à la manœuvre de la drague et

A reporter	5,635	17

Report	5,633 fr.	17
des bateaux (pour toute la durée des travaux).	277	10
3° Réparation des outils, divers travaux de forges (estimation)	100	»
Total des frais, tout compris	6,010 fr.	27

Ce qui, comme nous l'avons dit, fait ressortir le prix du mètre cube, rendu dans les conditions définitives énoncées plus haut, à 1 fr. 77.

IX. — *Parti à tirer des déblais voisins de moyens de tranport.*

Ce prix de revient va se trouver abaissé par la vente d'une grande quantité des cailloux et du sable restés à notre disposition.

Déjà nous avons livré à la commune de Dangu pour 350 fr. de cailloux; nous pouvons vendre le sable au prix de 2 fr. 25 le mètre cube, et nous avons la certitude que, par ces rentrées, nos dépenses réelles ne dépasseront pas 5,000 francs.

Or, quand on refléchira que les fortes eaux d'hiver ont souvent contraint à un chômage de 15 jours une usine qui produit par 24 heures:

1° 2,000 kil. cuivre laminé,

2° 4,000 kil. zinc en feuilles,

c'est-à-dire, pour une valeur vénale d'environ 8,200 francs; sur lesquels la façon est représentée par environ 1,000 francs, on reconnaîtra qu'il suffira d'avoir évité ces quelques jours de chômage forcé pour recouvrer les dépenses faites, qu'il pourrait très-bien arriver qu'une seule saison d'hiver suffit à atteindre ce but, et qu'il est enfin hors de doute qu'on y arrivera en deux hivers.

Comme nous le disions plus haut, la vente des déblais de la rivière composés entièrement de sables et cailloux est assurée

pour tous les lieux de dépôts accessibles aux moyens de transport.

Mais, il y en a d'autres que nous avons été forcés de nous assurer indéfiniment, soit gratuitement en abandonnant au propriétaire les déblais déposés sur son terrain, soit aux conditions ci-dessus, et en versant de plus une somme une fois donnée. Ces cas se sont présentés diversement et nous ont engagés à agir avec précaution pour conclure des arrangements à l'amiable avec tous les riverains, sur une longueur de plus de 2,600 mètres pour les deux rives, dont nous ne possédions pas un mètre linéaire.

Nous allons donc indiquer quels arrangements ont fait abonder tous les riverains dans le sens de nos intérêts, pour tracer une des voies à suivre dans ces questions, qui sont toutes de conciliation.

Une partie des déblais a été employée à combler un petit bras complètement inutile, avec l'autorisation du propriétaire de l'île mitoyenne, qui a été ainsi réunie à sa propriété de terre ferme. De plus, moyennant une somme de 0 fr. 80 c., nous avons été autorisés à déposer sur ladite île telle quantité de déblais qu'il nous plairait en en faisant l'abandon au propriétaire. On a déposé en cet endroit une partie du gravier extrait de la rivière ; une autre partie a été déposée : 1° sur la rive droite de la rivière, pour régler et rétablir la berge du marais communal de la commune de Gisancourt, qui avait été rongée par la rapidité des eaux en cet endroit avant le draguage, 2° sur les deux rives d'un bras latéral, afin de régulariser leurs anfractuosités.

Du reste, les travaux de draguage ayant fait baisser l'eau en ce point de 40 centimètres environ, ce bras est actuellement à sec, rempli de végétations, et une autre île ne tardera pas à être réunie à la précédente et à la prairie, en sorte que cette propriété, naguère morcelée en trois parties, sera d'un seul tenant et augmentée d'environ 800 mètres superficiels enlevés à la rivière.

C'est en cherchant toujours le moyen de sauvegarder nos intérêts tout en satisfaisant et au-delà ceux des riverains, qu'il nous a été possible de n'avoir pas à enlever un seul mètre cube de déblais extraits du lit du cours d'eau ; ce qui, vu les îles, les prairies, l'absence de ponts et de chemins arrivant jusqu'aux berges aurait coûté tellement cher, tant en frais d'installation de moyens de transport qu'en indemnités à payer pour droits de charrois à travers les propriétés riveraines jusqu'aux routes le plus voisines, que l'opération du curage eût été rendue mauvaise et inopportune par l'importance des frais accessoires.

Nous avons agi de la même manière sur toute la longueur de notre curage, réunissant les îles aux propriétés de terre ferme, comblant les baies creusées par les eaux de manière à régler le tracé des berges, et rendant aux riverains des portions de terrains que l'eau leur avait enlevées.

Enfin, arrivés à la dernière station, nous étions dans les eaux mêmes de l'usine, et le gravier a été déposé sur notre propre terrain, où nous en tirerons le meilleur parti.

Par ces arrangements, nos travaux de draguage ont pu s'accomplir presque sans d'autres frais que ceux mêmes de l'extraction.

X. — *Métré des remblais formés par les dépôts.*

Nous ne terminerons pas cette notice sans indiquer comment a été fait le métré des déblais extraits du lit de la rivière.

Les lieux de dépôt étaient de trois sortes :

1° Un terrain plat où d'une inclinaison régulière. Dans ce cas on disposait le gravier en longs cavaliers affectant la forme de troncs de pyramide, et on cubait les tas par les procédés ordinaires.

2° Les déblais servaient à combler ou un fossé ou un bras de rivière. Alors on déterminait diverses sections transversales du

lit au moyen de piquets, ces sections étant assez rapprochées l'une de l'autre pour que l'on puisse considérer comme des prismes les parties comprises entre deux sections consécutives.

On avait soin de planter des pieux assez hauts pour que leur tête dépassât le remblai une fois terminé. On prenait les hauteurs des pieux depuis le sol jusqu'à une ligne déterminée par des entailles faites sur les piquets et en ligne droite, avec une entaille invariable de position pratiquée sur un arbre ou tout autre objet immobile; on avait alors les hauteurs depuis l'entaille jusqu'au fond du remblai, et on était certain que les ouvriers ne pouvaient enfoncer les pieux après le relevé des hauteurs dans un but de fraude sans qu'on s'en aperçût, car alors les entailles faites à la tête des pieux ne se seraient plus trouvés en ligne droite avec l'entaille de repère invariable dont nous venons de parler.

Une fois ces mesures prises on commençait le remblai, et, celui-ci terminé, on relevait sur chaque pieu les hauteurs verticales entre le dessus du remblai et l'entaille supérieure du piquet, et chacune de ces hauteurs, retranchée de celle ci-dessus correspondante, donnait l'ordonnée du remblai en ce point. On pouvait donc calculer chaque section transversale du remblai au moyen de ces ordonnées et des abscisses données par la distance des pieux en employant la méthode des trapèzes, et le cas retombait dès lors dans le précédent.

Enfin, quand les déblais devaient servir à combler des anfractuosités d'une forme trop irrégulière, on a eu recours au jaugeage par bateaux.

Des points de repère ayant été fixés à l'avant et à l'arrière des bateaux et sur les deux flancs, les bateaux devaient être chargés jusqu'à ce que ces points affleurassent la surface de l'eau. Un employé de confiance constatait cet affleurement pour chaque bateau chargé, en comptait le nombre, et, de temps en temps, en faisait décharger un sur un terrain plat, de sorte qu'en mesu-

rant le tas ainsi formé, et connaissant le nombre des bateaux qui y avaient contribué, on obtenait la contenance exacte de ceux-ci, et par conséquent un moyen de mesure pour le 3ᵉ cas qui nous occupe.

Tels sont les travaux dont j'ai cru devoir entretenir la Société des Ingénieurs civils, travaux qui auront de l'intérêt pour elle, je l'espère, quoique bien modestes et bien au-dessous des grandes entreprises auxquelles donnent lieu la création et la construcion des chemins de fer et des grands ouvrages hydrauliques.

Je m'estimerai heureux si l'exposé de cette méthode, simple et facile à pratiquer, même loin des grands centres industriels (et qui du reste, ne peut-être remplacée par le draguage à vapeur dans le cas des rivières dont il est ici question), peut-être utile à ceux de nos confrères usiniers placés dans la même situation que moi, et je serai satisfait si j'apprends que cet espoir s'est réalisé.

NOTE sur la fabrication des rails en Angleterre

PAR

M. Desbrière.

La fabrication des rails s'est faite pendant très-longtemps en Angleterre conformément aux prescriptions contenues dans les cahiers des charges actuellement en vigueur en France, dont les clauses ont été servilement copiées depuis plus de vingt ans par les Compagnies françaises sur celles des cahiers des charges Anglais.

La réforme très-remarquable qui s'est produite depuis peu en Allemagne dans les méthodes de fabrication des rails rendait très-intéressante la question de savoir si ces méthodes n'avaient pas subi également des modifications en Angleterre, ou si l'on en était encore, dans ce pays comme en France, aux anciens errements dont l'inefficacité est démontrée aujourd'hui par une longue et coûteuse expérience. La présente note a pour but de rendre compte des faits que j'ai pu recueillir touchant la solution de cette question.

J'ai visité dans ce but trois des principales usines anglaises. Les deux premières, Ebbw-Vale et Blaina, sont situées dans le sud du pays de Galles, et sont remarquables comme toutes celles de ce pays par une incroyable activité de production, des prix assez bas, et une qualité généralement inférieure.

L'usine de Rotherham (Park-Gate Iron-Works), appartenant à MM. Samuel, Beale et C^{ie}, est située dans le Derbyshire, et

produit des rails de qualité supérieure, mais relativement chers.

Dans les observations que j'ai faites, je me suis attaché uniquement aux points essentiels, qui sont les dimensions, la composition et le mode d'élaboration des paquets, laissant de côté tous les détails particuliers du dressage, du coupage, du perçage, etc., qui sont souvent très-bien traités dans les usines anglaises au point de vue de l'organisation des ateliers, mais qui ne présentent du reste rien de particulier pouvant intéresser les Compagnies des chemins de fer.

USINE DE BLAINA.

Les forges de Blaina, qui comportent 60 fours à puddler et 30 à réchauffer, produisent par mois 2,800 à 3,200 tonnes de rails, en employant seulement deux trains de laminoirs. Cette production est supérieure à celle de la forge du Creusot, la plus importante de France, qui ne produit moyennement pas plus de 2,200 tonnes de rails par mois.

Les fers de Blaina sont très-rouvrains; aussi le marteau y est-il inconnu pour le cinglage des loupes. Le *squeezer* ou presse y est seul employé à cet objet : les loupes se réduiraient pour ainsi dire en poussière si on voulait les marteler.

La méthode de Blaina ne diffère que par des points peu importants de la méthode ordinaire.

Les couvertes sont fabriquées à l'aide de plusieurs mises de fer puddlé brut, réunies en paquets. Leur section transversale a 7 pouces sur 7/8 de pouce, soit 0^m, 175 sur 0^m, 022. Elles s'obtiennent au laminoir en une seule chaude.

Le paquet pour rail a 7 pouces sur 10 p., soit 0^m, 175, sur 0^m, 250. Les couvertes représentent donc environ le 1/6 du poids total du paquet.

Le paquet est élaboré en deux chaudes. Il passe d'abord au *blooming reversing*, train à faible vitesse et à mouvement alter-

natif. L'action de ce cylindre a pour but de déterminer la soudure. Il porte quatre cannelures seulement. Le paquet est ensuite remis au four, et passe au train ordinaire à rail, composé d'un *ruffing* (ébaucheur), et d'un finisseur. Le ruffing est également *reversing*, c'est-à-dire à mouvement alternatif.

Les paquets sont faits très-grossièrement ; les bouts de rails provenant des coupages à chaud y sont tolérés sous leur forme naturelle, ce qui cause, on doit le penser, une grande irrégularité dans la forme du paquet. Le seul point recommandable est la force des machines, qui permet aux rails de sortir des cylindres encore très-chauds, garantie importante pour la bonne soudure.

C'est à Blaina que M. Brunel, rebuté sans doute par l'impureté des fers qu'on y produit, a fait fabriquer une forte partie de ses rails entièrement en fer n° 2 ou corroyé. Les résultats ont été, à ce que j'ai appris à l'usine, très-défavorables. Les causes de cet insuccès ont été exposées si longuement dans ma note sur la méthode du Phœnix, que je ne crois pas avoir à y revenir. Ce qui est seulement très-remarquable, et ce qui prouve combien peu M. Brunel s'est rendu compte des causes de son échec, c'est le fait suivant, que j'ai appris également des directeurs de l'usine : exagérant son système, M. Brunel a été jusqu'à exiger successivement l'emploi, pour ses paquets, de fers n^os^ 3, 4, 5, 6 et 7, c'est-à-dire corroyés 2, 3, et jusqu'à 6 fois. La soudure est devenue, comme on pouvait le prévoir, de plus en plus difficile, sans que les résultats en service aient été meilleurs. — Je suppose que ces dernières tentatives n'ont eu que le caractère d'un essai ; car la dépense qu'elles ont dû entraîner aurait rendu impossible leur application sur une grande échelle.

USINE D'EBBW-VALE

La forge d'Ebbw-Vale se distingue par une fabrication encore plus active que Blaina. Elle renferme 106 fours à puddler et 65

à réchauffer. Sa production est de 5 à 6,000 tonnes de rails par mois, chiffre énorme, qui n'a d'analogue dans aucune usine du continent, et qui est d'autant plus extraordinaire que deux trains de laminoirs y suffisent : on se convaincra de l'énormité de ce chiffre en remarquant que chaque train doit laminer 20 rails par heure, ou un rail toutes les trois minutes, ce qui suppose chez les ouvriers un développement de force et d'activité vraiment extraordinaire.

L'usine d'Ebbw-Vale conserve, comme Blaina, les couvertes en fer corroyé. Voici les seules particularités dignes de remarque.

Le paquet pour couvertes est composé de quatre mises superposées. Ces mises proviennent de loupes étirées *seulement au marteau*, et ont la dimension d'environ 0m.25 sur 0m.05. Le paquet pour couverte a donc 0m.25 sur 0m.20 environ : on en obtient, par le laminage, des couvertes ayant neuf pouces sur 1 p. 1/4, soit 0m.225 sur 0m.031.

Le paquet pour rails comprend les deux couvertes et des mises intermédiaires en fer puddlé brut (celles-ci ont été obtenues à la presse et non au marteau). Il a la dimension totale de 9 pouces carrés, soit 0m.225 sur 0m.225. Il est passé d'abord au *blooming* (celui d'Ebbw-Vale est à trois cylindres et n'est pas par suite *reversing* ou à mouvement alternatif ; sa vitesse est de 15 à 20 tours par minute). A la sortie du blooming, le paquet est réduit à la dimension de 7 pouces sur 7, soit 0m.175 sur 0m.175. Il est réchauffé et passé aux trains ébaucheur et finisseur comme à l'ordinaire.

Ce qui caractérise cette méthode est, comme on le voit, l'emploi du marteau (exigeant des fers de qualité supérieure), pour le cinglage des loupes destinées à former les mises du paquet pour couvertes. Le soudage se fait au moyen du *blooming* comme à l'usine de Blaina. En se servant de trois cylindres, comme en donnant à deux cylindres seulement un mouvement alternatif, on diminue la perte de temps. Mais cette disposition, connue sous le

nom de *trio*, entraîne une complication assez grande, résultant de l'obligation d'élever et d'abaisser les *guides* à chaque passage, à l'aide d'une machine spéciale mue par la vapeur et manœuvrée par un aide (1).

Le prix des rails fabriqués à Ebbw-Vale avec couvertes provenant de loupes martelées est de 2 livres (soit environ 50 f. 60), supérieur, par tonne, au prix des rails ordinaires du pays de Galles. Ce dernier prix était, lors de mon voyage (juin 1858), d'environ 17 f. 50 les 100 kil.

USINE DE PARK-GATE (ROTHERHAM).

Cette forge traite des minerais, et surtout emploie des houilles beaucoup plus pures que les usines du pays de Galles. Le fer est un peu ductile, mais il n'est pas rouvrain, et supporte par conséquent très-bien le travail de la forge. Aussi, une grande partie de la production de l'usine est le fer marchand, ce qui contribue à rendre les rails fort chers. Les méthodes de fabrication sont, du reste, plus parfaites que dans le pays de Galles.

(1) Le *blooming* a pour but de produire la soudure en opérant une simple pression et peu d'allongement : on lui donne une faible vitesse, afin que les mises du dessus et du dessous aient une moindre tendance à glisser sur celles du milieu, tendance qui, dans les cylindres ordinaires, est considérée comme un obstacle à la soudure complète. Mais cette faible vitesse est elle-même un inconvénient, parce qu'elle permet au paquet de perdre la température soudante avant la fin de l'opération. C'est pour y remédier qu'on a été conduit au système *reversing* et au système *à trio* qui doublent le nombre des passages dans un même temps. Le blooming a donc le même objet que le marteau, c'est-à-dire assurer la soudure sans déplacer les mises. Des essais faits récemment par M. Benoit-Duportail, et communiqués à la Société des Ingénieurs civils, donnent lieu de penser que la presse hydraulique produirait ces effets de soudure d'une manière beaucoup plus complète, et qu'elle serait d'un usage très-pratique. — L'utilité du marteau-pilon, pour produire ces effets, est contestée par beaucoup de personnes, à cause surtout de la difficulté du *contre forgeage* (ou forgeage sur champ), dont le résultat est souvent de séparer les mises et de détruire ainsi l'effet du forgeage à plat.

Voici celle suivie pour les fournitures du Great-Northern.

Les couvertes proviennent directement de loupes étirées au marteau frontal, *sans laminage*. Les couvertes ainsi obtenues ont 10 pouces sur 1 p. 1/4, soit $0^m.250$ sur $0^m.031$. Elles en - trent sous cette forme dans la composition du paquet. Pour quelques compagnies qui l'exigent encore, on leur fait subir une chaude et un laminage supplémentaire. Mais pour aucune, on ne fait de paquets pour couvertes, de sorte que les couvertes sont toujours d'une seule pièce et sans soudure. Quelquefois seulement, quand une loupe ne suffit pas, on en réunit deux au sortir du four à puddler et on les martèle ensemble pour former une couverte.

Le paquet pour rail à 10 pouces sur 10, soit $0^m.25$ sur $0^m.25$; on y tolère des bouts coupés dans le milieu. Il passe d'abord dans les trois premières cannelures de l'ébaucheur, qui est à mouvement alternatif et qui fait ainsi fonction de blooming. Il passe dans la première cannelure à plat, dans la seconde sur champ, dans la troisième à plat et *deux fois*. Il a alors 7 pouces sur 7, soit $0^m.175$ sur $0^m.175$. Il est remis au four et passe alors dans les dernières cannelures de l'ébaucheur et dans le finisseur, qui, étant monté sur les mêmes arbres que l'ébaucheur, est également à mouvement alternatif. Les machines sont un peu faibles, mais la nature du fer et la composition du paquet (tout en fer du même numéro) sont telles, que la soudure de ces rails est parfaite.

Le prix des rails de Park-Gate est de 28 fr. 75 les 100 kilog., rendus à Liverpool. Ce prix est énorme pour l'Angleterre; mais plusieurs Compagnies aiment mieux le subir que de prendre les rails à bas prix du pays de Galles. MM. Beale acceptent avec le Great-Northern un délai de garantie de 7 années. Ce fait est la meilleure preuve de la bonne qualité de ces rails et de l'importance majeure de la bonne soudure; car, je le répète, le fer de Rotherham est un peu mou et serait considéré par beaucoup de personnes comme impropre à faire des rails.

M. Brunel a fait plusieurs commandes à Park-Gate dans ces derniers temps. J'y ai vu fabriquer des rails à deux champignons pour le chemin de Calcutta à Bombay, et des rails Vignole pour la ligne de Halifax à Leeds, dont le patin n'avait pas moins de $0^m.15$ de largeur, et qui venaient parfaitement sans criques, sans qu'il fût nécessaire d'employer du fer corroyé sur les bords

En résumé, parmi les fabrications que j'ai été à même d'examiner, la plus remarquable est, sans contredit, celle de Rotherham, qui est caractérisée par l'homogénéité des mises, et qui se rapproche beaucoup, sous ce rapport, de celle du Phœnix. — D'une manière générale, on peut dire que la tendance en Angleterre est aujourd'hui :

1° De marteler les couvertes d'une seule pièce ;

2° De faire des paquets de forte dimension;

3° De les laminer en deux chaudes, dont la première a pour objet principal de réaliser la soudure en opérant à faible vitesse le laminage qui la suit.

Les avantages de l'homogénéité ne paraissent pas avoir été compris jusqu'à présent, si ce n'est par M. Brunel, et aucune méthode ne peut soutenir la comparaison avec celle du Phœnix. Il est vrai de dire, toutefois, que ce qui caractérise cette dernière, c'est son application toute spéciale au rail Vignole, et la valeur toute particulière qu'elle donne à cette forme de rail. En effet, l'emploi d'un fer doué d'une aussi faible résistance à la rupture par extension que le fer phosphoreux pour former la couverte n'est, sans doute aucun, admissible qu'avec la forme à champignon simple : avec la forme à double champignon, cet emploi occasionerait une diminution dangereuse dans la résistance du champignon inférieur. Sous ce rapport, on ne pouvait donc s'attendre à rencontrer son équivalent en Angleterre, où la forme à double champignon a conservé jusqu'à présent la prééminence.

NOTE sur les commandes de laminoirs par poulies et courroies établies par MM Thomas et Laurens,

PAR

M. Saulnier.

Les transmissions de mouvements, à l'aide d'engrenages, aux trains de laminoirs, que les moteurs soient hydrauliques ou à vapeur, ont de graves inconvénients. Les irrégularités des dents et surtout le jeu nécessaire entre elles entretiennent un tremblement et des chocs continuels. Les puissants volants que ces transmissions exigent ne préservent pas toujours les dents de la rupture, et, d'ailleurs, le travail des laminoirs est sujet à des accidents qui occasionent sur les engrenages d'énormes réactions instantanées et incalculables; et, malgré l'excès de dimensions qu'on donne toujours aux pièces, les roues se rompent souvent et leurs débris causent quelquefois la rupture des volants.

Aux forges de Rachecourt (Haute-Marne), par exemple, après dix ans de marche, les engrenages et par suite le volant de l'un des deux équipages se sont brisés, et deux ans plus tard le même accident est arrivé à l'autre équipage.

La durée de ces transmissions démontre cependant qu'elles avaient été établies dans de bonnes conditions. Nous allons chercher à le reconnaître par le calcul, en nous appuyant sur quelques

observations faites, après le premier accident, sur la marche du train rétabli dans son état primitif, et sur celle du gros train, qui s'est rompu le dernier.

Les volants sont soumis à deux genres d'efforts qui tendent à les rompre :

1° La force centrifuge ;

2° La réaction sur les bras due aux variations de vitesse.

1° Soit φ la force centrifuge d'une masse m correspondant à une longueur c de la jante, M la masse totale de la jante et v la vitesse à la circonférence moyenne (Planche 12, Fig. 19.) on a,

$$\varphi = \frac{mv^2}{r},\ m = \frac{Mc}{2\pi r};\ \text{d'où}\ \varphi = \frac{Mcv^2}{2\pi r^2}.$$

La tension T en une section s de la jante est la somme des composantes Y des forces φ pour 1/4 de circonférence ; et, comme

$$Y = \varphi \frac{d}{c}$$

on a

$$T = \Sigma Y = \sum \frac{Mcv^2}{2\pi r^2} \frac{d}{c} = \frac{Mv^2}{2\pi r^2} \Sigma d\ ;$$

mais

$$\Sigma d = r,$$

donc

$$T = \frac{Mv^2}{2\pi r}.$$

En remplaçant M par sa valeur $\frac{2\pi r s \delta}{g}$, δ étant la densité, ou 7207 pour la fonte, et en remplaçant v par sa valeur $\left(\frac{2\pi r n}{60}\right)$, n étant le nombre de tours par minute, on a

$$T = \frac{2\pi r s \delta}{2 g \pi r} \frac{4\pi^2 r^2 n^2}{60^2} = \frac{4\pi^2 \times 7207}{g\, 60^2} r^2 n^2 s,$$

ou, par unité de surface de section,

$$\frac{T}{s} = 8.03\ r^2\ n^2. \qquad (A)$$

Cette formule, établie autrefois par M. Walter de Saint-Ange, indique la relation simple qui existe entre le rayon d'un volant, son nombre de tours et la tension en une section de sa jante.

M. Mahistre, professeur à la faculté de Lille, propose de ne pas faire dépasser aux volants une vitesse $n = \frac{508.72}{r}$.

Or de la formule (A) ci-dessus on tire :

$$n = \frac{\sqrt{\frac{T}{s}}}{r\sqrt{8.03}}; \quad \text{d'où} \quad \frac{\sqrt{\frac{T}{s}}}{\sqrt{8.03}} = 50872;$$

d'où la tension par mètre carré de section est $\frac{T}{s} = 2075000^k$.

M. Mahistre conseille donc par sa formule de ne pas dépasser une tension de 207k.5 par centimètre carré, qui offre en effet une très-grande sécurité. D'ailleurs, les bras contribuent un peu à la résistance de la jante. D'après cette formule, les volants de Rachecourt auraient pu faire $n = \frac{508.72}{3^m.00} = 160$ tours, et ils n'en faisaient que 90; leur jante était donc parfaitement à l'abri de la rupture due à la force centrifuge, en admettant même que les assemblages des divers segments aient diminué la résistance en plusieurs sections.

2° La réaction exercée sur les bras d'un volant pendant les variations brusques de vitesse peut être à peu près calculée, si on observe la fraction de tours que fait le volant pendant son accélération négative et le temps que dure son accélération positive. A Rachecourt, par exemple, le volant du train soumis au travail le plus rude faisait au moins 1/12e de tour pendant le ralentisse-

ment dû aux plus forts chocs, puis reprenait sa vitesse de régime en moins de 6 secondes.

Soit donc : accélération négative pendant 1/12e de tour, et accélération positive pendant 6 secondes.

Le moteur de ce train est une turbine dont la puissance ne peut dépasser 80 chevaux ; et, en admettant que 60 chevaux sont employés pendant les 6 secondes pour rendre au volant seul sa puissance vive perdue par le choc, on fait une troisième hypothèse, qui, ainsi que les deux premières, admet le volant dans de plus mauvaises conditions que celles dans lesquelles il était réellement ; on a alors : (Fig. 2)

$$\frac{1}{2} M \left(v^2 - v_0^2\right) = Pe = 60 \text{ ch}^{x} \times 75^{km} \times 6'' = 27.000^{km}.$$

$$e = \frac{1}{12} 2\pi 3^{m}.00 = 1^{m}.57;$$

d'où, en supposant que la force P reste constante pendant le parcours e avec accélération négative, parcours égal à 1/12e de tour, ce qui est très-rapproché de la vérité, car les bras ont un peu d'élasticité, on a :

$$P = \frac{27.000^{km}}{1.57} = 17.190^{k}.$$

Cet effort, réparti également sur les huit bras, est à $2^{m}.70$ de leur section mn près du moyeu, et on a à peu près :

$$PL = R \left(\frac{\pi bh}{4} + \frac{pq^2}{6}\right);$$

d'où

$$R = \frac{\frac{17.190}{8} \times 2.70}{\frac{\pi \times 0.06 \times 0.1^2}{4} + \frac{0.09 \times 0.06^2}{6}} = 11,000,000^{k},$$

valeur trois fois plus faible que la résistance limite de la fonte à la flexion.

Celles des dents d'engrenages qui étaient situées dans les con-

ditions de résistance les plus défavorables avaient les dimensions indiquées figure 3. Elles pouvaient, d'après la formule pratique ordinairement employée, transmettre un effort de :

$$P' = \frac{25\,ab^2}{2} = \frac{25 \times 27^c \times 5^{c2}}{5^c.7} = 2990^k,$$

qui produit, avec la vitesse de $6^m.41$ dont ces dents étaient animées, un travail de 256 chevaux, c'est-à-dire 3 à 4 fois plus grand que celui que peut transmettre le moteur.

Dans le cas de choc examiné plus haut pour le volant, l'effort P à la jante du volant correspondait à un effort sur la dent de

$$P'' = \frac{Pr}{p} = 17.190 \frac{3^m}{0.^m68} = 75{,}840^k$$

En supposant qu'une seule dent supporte cet effort, on a (Fig. 4.)

$$R = \frac{6\,P''l'}{ab^2} = \frac{6 \times 75{,}840^k \times 0^m.03}{0.27 \times 0^m.05^2} = 20{,}000{,}000^k,$$

valeur qui n'atteint pas les deux tiers de l'effort de rupture. D'ailleurs, à Rachecourt, il y avait toujours plusieurs dents en contact.

La rupture de ces transmissions ne pouvait donc avoir pour cause une insuffisance de force dans les volants ou dans les engrenages. En effet la transmission N° 1 s'est rompue par suite de la formation d'un collier au train marchand.

La transmission N° 2, dont les engrenages étaient les moins chargés, s'est rompue sans cause apparente. Il y avait probablement eu affaiblissement de cohésion, opéré avec le temps dans la fonte des dents d'engrenage par les vibrations et chocs auxquels elles étaient continuellement soumises. Cette altération, analogue à celle que subit le fer dans les mêmes circonstances, explique la plupart des accidents qui ont lieu dans les forges, malgré l'emploi des boites de sûreté et la faiblesse que l'on

donne, à dessein, aux manchons, allonges et engrenages de cages.

Dans le but de faire disparaître toutes chances de ruptures désastreuses, MM. Laurens et Thomas ont eu la pensée de transmettre le mouvement aux trains de laminoirs par le moyen de poulies et courroies.

Ce genre de transmission, qu'ils ont appliqué à Rachecourt, offre une grande sécurité même pour le cas de résistances accidentelles qui feraient briser les transmissions par engrenages, car il permet le glissement ou la rupture des courroies.

L'équipage N° 1 (*train à fer brut et train marchand*) est maintenant commandé au moyen de deux poulies doubles, de $4^{m}.20$ de diamètre, reliées par deux courroies jumelles de $0^{m}35$ de largeur chacune (*fig.* 5). Les poulies motrices sont aussi légères que le permet leur grand diamètre, et celles commandées, placées sur l'arbre même des trains, ont des jantes pesant ensemble 15,000 k. qui jouent le rôle de volant. Ces trains absorbent 40 chevaux à vide et 70 au plus pendant le laminage. La différence des tensions T, *t*, est donc au plus :

$$T - t = \frac{70^{ch} \times 75^{km} \times 60}{\pi \times 4^{m}.20 \times 90^{t}} = \frac{5250^{km}}{19^{m}.80} = 265^{k};$$

Cette différence n'exige que des tensions

$$t = \frac{T - t}{km - 1} = \frac{265}{(0.9 \times 2.41) - 1} = 227^{k},$$

$$T = \frac{(T - t)\,km}{km - 1} = \frac{265^{k}.\ (0.9 \times 2.41)}{(0.9 \times 2.41) - 1} = 492^{k}.$$

Dans ces formules $m = e^{\frac{fs}{r}} = 2.41$, les poulies étant en fonte tournée et les courroies à l'état ordinaire d'onctuosité ;

$k = 0.9$, coefficient d'accroissement de tension nécessaire pour éviter le glissement.

La tension T = 492 k. ne représente que $\frac{492}{2 \times 0^{m}.35} = 7$ k. par centimètre de largeur de courroie et ne peut produire aucun allongement. Cette tension est souvent dépassée dans les transmissions ordinaires. Ainsi les courroies commandant les meules à blé transmettent 3 ch^{x}. 1/2 à 4 ch. avec une vitesse de 8 mètres; leur largeur est de $0^{m}.10$. Les courroies ci-dessus auraient donc besoin pour se trouver dans les mêmes conditions de tension d'avoir une largeur totale de

$$0^{m}.10 \frac{70^{ch} \times 8^{m}}{4^{ch} \times 19^{m}.80} = 0^{m}.71.$$

Elles n'ont ensemble que $0^{m}.70$, mais elles sont plus épaisses que les courroies employées pour la commande des meules.

Ce système de transmission fonctionne depuis environ trois ans, et les courroies, un peu plus tendues que ne l'exige la formule, ne sont soumises à aucun glissement; c'est ce qui explique leur parfaite conservation.

L'équipage N° 2 est maintenant commandé au moyen d'une grande poulie double de $5^{m}.60$ de diamètre. Elle porte deux courroies, l'une de $0^{m}.40$ de largeur, commandant une poulie de 2.80 sur le train cadet; l'autre de 0.35 de largeur, commandant une poulie de $1^{m}.60$ sur le train à guides (*fig*. 6). Ces courroies, en raison de leur vitesse de $26^{m}.40$ et des puissances qu'elles ont à transmettre, ne sont pas plus tendues par centimètre de largeur que celles précédentes.

Ces nouvelles transmissions ont amené deux résultats très remarquables. L'un est une amélioration dans le laminage, due à une marche régulière et débarrassée de ces roulements et de ces chocs continuels inhérents à l'emploi des engrenages. L'autre est la certitude qu'ont acquise les ouvriers de n'avoir à redouter aucun accident grave. Cette sécurité influe avantageusement sur l'adresse et la rapidité des manœuvres.

Il est donc pratiquement établi que tous les laminoirs d'une forge à l'anglaise peuvent être conduits par des courroies, et que ce mode de transmission est à tous égards supérieur à celui des engrenages si exclusivement employé jusqu'à ce jour.

C'est là un progrès très important pour les laminoirs qui marchent par les moteurs hydrauliques. Quand c'est à la vapeur qu'on demande la force, il est clair que le mode préférable encore aux courroies est celui que MM. Laurens et Thomas ont introduit depuis longtemps dans les forges, c'est-à-dire la commande directe des laminoirs par les bielles des machines à vapeur, dont les pistons font ainsi autant de coups doubles que les laminoirs font de tours.

Nous terminerons cette note par quelques mots sur une disposition de transmission par courroies que nous avons adoptée pour un moulin à blé de 10 paires de meules en activité depuis six ans à St-Sulpice, près Neuchâtel (*Suisse*).

Le moteur est une turbine, qui commande, par engrenages d'angle, un arbre horizontal traversant le moulin et porté par les murs et les colonnes intérieures (*fig.* 7). Cet arbre, faisant 180 tours par minute, porte 10 poulies de $0^{m}.80$ de diamètre, qui commandent chacune une poulie de $1^{m}.30$ placée sur l'arbre d'une meule et faisant 110 tours. Chaque courroie est tendue au moyen d'une poulie à chape et à contre-poids, nécessaire pour l'arrêt et la mise en marche de la meule indépendamment des autres, mais inutile pour le maintien de la courroie sur ses poulies.

Cette disposition de courroies tordues, souvent employée pour de faibles transmissions, n'avait pas encore été appliquée pour les moulins. Elle offre cependant, dans certains cas, l'avantage d'une grande simplicité de transmission et même celui d'une économie d'emplacement.

Les courroies employées de cette manière n'usent pas plus que celles marchant dans un plan, et la déviation à laquelle elles

sont soumises en quittant chaque poulie ne les déforme pas si les axes sont éloignés de plus de trois fois le diamètre de la grande poulie.

Quant aux conditions nécessaires pour que ces courroies ne tombent pas, on sait qu'elles consistent simplement à disposer les poulies sur leurs arbres de façon que chaque brin, arrivant sur une poulie, soit situé dans un plan perpendiculaire à son axe, passant par le milieu de l'épaisseur de la poulie et tangent à la poulie que quitte le brin, conditions auxquelles il est toujours possible de satisfaire, tout en obtenant pour chaque arbre le sens de mouvement exigé.

MÉMOIRE N° VIII

SUR LA RÉSISTANCE

DES

CONDUITS INTÉRIEURS A FUMÉE DANS LES CHAUDIÈRES A VAPEUR

PAR M. LOVE

Art. 1er *Exposé de la question. — Expériences.*

1. Il existe peu de points sur lesquels l'art de l'ingénieur soit plus en défaut que sur la question dont il s'agit. Il n'en est pas non plus qui appelle davantage l'attention du praticien, parce que les conduits intérieurs de fumée sont employés sur une très grande échelle, et qu'ils tendent à l'être de plus en plus. On les rencontre en effet, exclusivement à tous autres, dans les chaudières de bateaux à vapeur; dans les machines locomotives et locomobiles; ils s'introduisent de plus en plus dans les chaudières fixes; et, comme ils présentent des avantages considérables sur les carneaux extérieurs, au point de vue de la production *rapide* et *économique* de la vapeur, on peut prévoir qu'il arrivera un instant, peu éloigné, où les chaudières tubulaires auront complétement remplacé les anciennes chaudières. L'art de construire les chaudières tubulaires ou à conduits intérieurs de fumée a-t-il marché du même pas que l'emploi de ces appareils? Sait-on aujourd'hui proportionner un tube de fumée aux efforts qui le solli-

citent, et de manière à satisfaire à la fois à la ***sécurité*** et ***à l'économie?*** Aucunement : on aura beau feuilleter les traités spéciaux et les aide-mémoire les plus anciens comme les plus récents, tout ce que l'on trouvera se résume dans le 3ᵉ paragraphe de l'article 18 de l'ordonnance du 22 mai 1843, ainsi conçu : « Les épaisseurs de la tôle devront être augmentées, s'il s'agit « de chaudières formées en totalité ou en partie de faces planes, « ***ou bien de conduits cylindriques ou autres et servant soit de*** « ***foyers, soit à la circulation de la flamme;*** ces chaudières et « ***conduits*** devront de plus être, suivant les cas, ***renforcés par*** « ***des armatures suffisantes.*** »

Ce paragraphe ne prouve qu'une chose : l'insuffisance de l'art sur un point important, qui intéresse la sécurité publique. Il est impossible d'admettre que les ingénieurs qui l'ont rédigé ne s'en sont pas aperçus. Si ce point ne leur a pas échappé, comment se fait-il qu'ils n'aient pas considéré comme un cas de conscience de recommander à l'Etat et de lui faire faire les expériences capables de l'éclairer, surtout quand il était facile de voir qu'elles étaient de nature à être difficilement abordées par l'industrie privée. Il semble qu'un des premiers avantages que l'on devrait retirer du système de la réglementation sur les questions de résistance qui intéressent la sécurité publique serait de mettre ceux chargés de le formuler à même de trouver d'emblée les points sur lesquels la science et la pratique sont muettes, et d'indiquer les moyens d'y suppléer. Il ne serait pas mal non plus de voir l'Académie des sciences s'intéresser d'une manière toute spéciale à ces questions, prévoir les besoins de la pratique et venir, d'accord avec les ingénieurs chargés de rédiger les prescriptions, recommander au gouvernement, avec tout le poids d'un corps considérable et considéré, l'exécution à ses frais de toutes les expériences capables d'augmenter les ressources de l'art et la sécurité publique. Avec un peu d'initiative, notre premier corps savant et nos ingénieurs, ayant seize ans d'avance

sur nos voisins pour faire une recherche de la plus haute utilité, ne se seraient pas laissé enlever le mérite de la voir entreprendre par M. William Fairbairn, et à ses frais, à la requête de la Société Royale de Londres et de l'Association britannique pour l'avancement de la science.

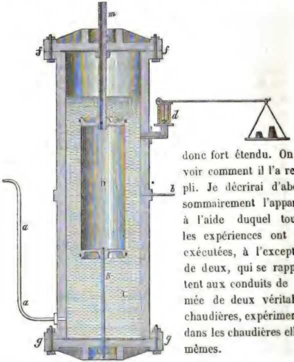
2. Le résultat des expériences de M. Fairbairn a été lu, en mai 1858, à la Société Royale de Londres. Je ne sache pas qu'aucune traduction, ou compte-rendu en ait été encore publié en France, malgré le grand intérêt qu'il présente. En tous cas, comme je ne me bornerai pas à traduire les tableaux et formules de M. Fairbairn, et que j'y joindrai une analyse détaillée et une nouvelle formule plus satisfaisante que celle de l'expérimentateur anglais, j'espère que, si je ne suis pas le premier à faire connaître les nouvelles expériences, le jour nouveau sous lequel je les présenterai ne sera pas absolument dénué d'intérêt.

Les tubes placés à l'intérieur des chaudières sont toujours fortement retenus et consolidés à leurs extrémités. Ils varient dans leurs dimensions, longueur, diamètre et épaisseur, dans de très-grandes limites ; il fallait donc, pour que les expériences pussent s'appliquer à tous les cas pratiques, qu'elles fussent nombreuses et qu'elles comprissent des tubes des dimensions les plus variées. M. Fairbairn l'a bien compris. Aussi ses expériences portent sur 39 tubes, dont les diamètres ont varié de 10 centimètres à un mètre environ ; les longueurs, de 48 centimètres à 11 mètres ; les épaisseurs de 1 millimètre à 95 ; le rapport des diamètres aux épaisseurs variant, d'ailleurs, de 56 à 280 ; celui des longueurs aux diamètres, de 4 1/2 à 15 (1) ; enfin, pour rester dans les conditions de la pratique ordinaire, les tubes expérimentés étaient solidement retenus et renforcés à leurs

(1) Les expériences n'ayant guères de valeur fort au-delà des limites dans lesquelles elles ont été faites, il importe que le lecteur ne perde pas de vue le programme détaillé, que j'en donne à dessein, pour qu'il ne s'aventure pas à faire des applications qui échapperaient à la loi que j'ai trouvée.

extrémités. Cependant, afin de reconnaître l'influence de l'attache, quelques expériences, comprises dans les précédentes, furent faites en laissant les deux extrémités du tube libres de se rapprocher. Quelques autres furent faites aussi en vue de déterminer l'avantage qu'il y aurait à renforcer un tube par des bourrelets circulaires ou des fers à T, de fixer le mode de rivure le plus convenable et de montrer l'importance qu'il y a à donner aux tubes la forme circulaire la plus parfaite possible.

3. Le programme que s'était donné l'ingénieur anglais était



donc fort étendu. On va voir comment il l'a rempli. Je décrirai d'abord sommairement l'appareil à l'aide duquel toutes les expériences ont été exécutées, à l'exception de deux, qui se rapportent aux conduits de fumée de deux véritables chaudières, expérimentés dans les chaudières elles-mêmes.

La figure ci-contre donne une coupe verticale de l'appareil

Digitized by Google

en question. Il consistait en un grand cylindre en fonte de 2m.44 de longueur, de 71 centimètres de diamètre, et de 5 centimètres environ d'épaisseur. A l'intérieur de ce cylindre, fermé par deux couvercles fortement boulonnés, était placé le tube à expérimenter maintenu, en bas par une tige de fer *k*, filetée aux deux bouts, et traversant le couvercle inférieur contre lequel portait l'écrou qui la fixait ; en haut par une autre tige fixée au couvercle supérieur par deux écrous. Cette dernière tige était creuse, afin de donner issue à l'air du tube expérimenté au moment où il s'aplatissait, ce qui avait toujours lieu avec une forte explosion.

Les tubes soumis à l'expérience, composés d'une seule largeur de tôle courbée sur un mandrin, étaient rivés à deux disques en fonte, et brasés en cet endroit aussi bien que le long du joint longitudinal, afin de les rendre étanches à l'eau sous les plus fortes pressions.

La pression était exercée au moyen de l'eau introduite au moyen d'une pompe par le tube *a a*. L'air s'accumulait sous une forte pression à la partie supérieure, et diminuait la quantité d'eau à introduire; cependant, lorsque de fortes pressions étaient requises, on le faisait échapper par un robinet placé près de la bride supérieure, et l'on effectuait la rupture par l'emploi de l'eau seulement.

La pression à l'intérieur était donnée par deux manomètres de constructions différentes ; les résultats étaient d'ailleurs contrôlés par une soupape de sûreté, établie avec le plus grand soin. Il est clair, par ce qui précède, que toutes les précautions avaient été prises pour rendre les expériences aussi concluantes que possible : on verra que ce but a été atteint.

Voici d'abord ces expériences, que M. Fairbairn présente en neuf tableaux, qu'il m'a paru plus convenable, pour simplifier l'analyse et rendre les comparaisons plus faciles, de condenser en un seul.

Nos d'ordre	DIMENSION DES TUBES diamètre D	longueur L	épaisseur F	Rapport D/E	PRESSION DE RUPTURE par centim carré observée	calculée	FORME de la section après rupture.	OBSERVATIONS
	cent.	cent	cent.					
1	10.16	43.26	0.109	92	11.94	10.78		La moyenne des tubes 1 et 2 a été de 10.78. Ils offraient après la rupt. la même forme triangulaire.
2	Id.	Id.	Id.	Id.	9.62			
3	Id.	101.60	Id.	Id.	4.57	4.30		Le tube s'est aplati.
4	Id.	96.52	Id.	Id.	4.57	4.60		Id. Id.
5	Id.	152.40	Id.	Id.	3.02	2.27		Id. Id.
6	Id.	152.40	Id.	Id.	9.34	10.20		Forme triangulaire dans la section de rupture; ce tube était divisé en 8 parties, par deux anneaux rigides en fonte soudés dans le milieu à une distance de 50.80. La rupture a eu lieu entre ces anneaux.
7	15.24	76.20	0.109	188	3.37	4.13		En retirant ces deux tubes on trouva les dessins en fonte rompus. Ce qui avait sans doute entraîné la rupture des tubes avant qu'ils eussent atteint leur résistance maximum.
8	Id.	73.66	Id.	Id.	3.30	4.45		
9	Id.	149.86	Id.	Id.	2.25	2.63		
10	Id.	76.20	Id.	Id.	3.65	4.11		La moyenne des derniers tubes de 76.20 ne peut être prise que sur les deux premiers. Car à l'intérieur du nº 12 avait été placée une barre pour empêcher le rapprochem. des extrémités, et de plus un anneau en étain y avait
11	Id.	76.20	Id.	Id.	4.57			

N^{os} d'ordre	DIMENSIONS DES TUBES diamètre D	longueur L	épaisseur E	Rapport $\frac{D}{E}$	PRESSION de rupture par centim. carré observée	calculée	FORME de la section après rupture.	OBSERVATIONS.
12	Id.	76.20	Id.	Id.	5.97	»		été laissé par mégarde. Ce qui a dû augmenter notablement la résist.
13	20.32	76.20	0.109	185	2.74	3.10		
14	Id.	99.06	Id.	Id.	2.25	1.90		
15	Id.	101.60	Id.	Id.	2.18	1.30		
16	25.34	127.00	0.109	230	1.33	1.24		
17	Id.	76.20	Id.	Id.	2.32	2.50		
18	30.78	148.59	0.109	280	0.77	0.78		
19	30.48	152.48	Id.	260	0.87	0.765		La rivure de ce tube, comme celle de tous les autres, a été faite par simple superposition et au moyen d'une ligne de rivets.
20	30.48	76.20	Id.	260	1.54	2.06		La rivure de ce tube a été faite exceptionnellement par rapprochement bout à bout des extrémités de la tôle et au moyen d'un couvre--joints et de deux lignes de rivets.
21	22.86	93.98	0.63	36.20	31.66	47.50?		Sous la pression de 31.62 qui ne peut être poussée plus loin à cause de la résistance limitée de l'appareil, le tube ne décèle aucune tendance à rompre.

N[os] d'ordre	DIMENSIONS DES TUBES diamètre D	longueur L	épaisseur F	Rapport D/E	PRESSION de rupture par centim. carré. observée	calculée	FORME de la section après rupture.	OBSERVATIONS.
22	47.62	154.94	0.63	75.5	29.51	31.50		
23	22.86	93.98	0.355	64.50	18.41	30.07		
24	22.86	93.98	0.355	Id.	26.56	30.07		
25	20.32	152.40	0 109	185	1.54	1.25		Tubes sans étais à l'intérieur et sans tiges de retenue aux disques, de manière à permettre à ceux-ci de se rapprocher par la pression.
26	20.32	76.20	Id.	Id.	2.53	3.10		
27	10.16	152.40	Id.	Id.	3.30	2.27		
28	Id.	76.20	Id.	Id.	(13 70)	6.28		Ce tube s'étant rompu par les extrémités, l'air s'y est introduit et y a produit une contre pression qui a causé un accroissement apparent de résistance.
29	Id.	76.20	Id.	Id.	6.53	6.28		
30	Id.	38 10	Id.	Id.	7.58'	14.17		Ce résultat est évidemment une anomalie.
31	38.10	53.34 longueur totale. 151.75	0.317	123	(10.54)	9.25		Tube rivé en 3 parties séparées par des bourrelets ou nervures de 0.63 d'épaisseur. Rivets de 0c.63, placés à 3c.17 de distance

N° d'ordre	DIMENTIONS DES TUBES diamètre D i	longueur L	épaisseur F	Rapport D/E	PRESSION de rupture par cent. carré. observée	calculée	FORME de la section après rupture.	OBSERVATIONS.
32	38.57 39.68 diamètre moyen. 39.12	43.18 longueur totale. 151.13	0.317	120	15.46	9.06	»	Ce tube était en tôle d'acier et avait la même forme et sensiblement les mêmes dimensions que le précedent. Seulement il a rompu par le tronçon du milieu qui était le plus court
33	37.14	152.40	0.317	116	8.785	8.95	»	Tubé rivé par superposition, aplatissement dans le milieu à peu de distance de la rivure. Ces tubes étaient étayés intérieurement, d'un disque à l'autre.
A	106.68	1066 78	0.952	110	6.82	7.60	»	Ces deux expériences ont été faites sur des chaudières de 2^m 35 de diamètre extérieur, dont les tubes inscrits au tableau étaient les conduits de fumée. Par l'effet de la pression, ces conduits se sont tordus et ont pris la forme elliptique qui annonce qu'ils se seraient aplatis complétement si l'on avait poussé l'expérience jusqu'au bout.
B	106.68	761.98	0.952	120	8.92	9.60	»	
34	36.56 26.03	152.40	0.109	»	0.45	»		Ces tubes étaient *de forme elliptique.*
35	32.70 38.73	154.94	0.635	»	8.96	»		Joint formé par un couvre-joint et deux files de rivets.
22	47.62	154.94	0.63	»	29.51	»	»	Tubes cylindriques reproduits pour faciliter la comparaison avec les deux précedents, et qui s'en raprochent le plus par les dimensions.
19	30.48	152.40	0.109	»	0.87	»	»	

Art. 2. — *Analyse des expériences précédentes.*

5. La particularité qui frappe le plus en examinant le tableau qui précède, c'est l'influence de la longueur des tubes sur leur résistance. Si l'on prend en effet les longueurs des tubes 1 et 2, et qu'on les rapproche de leur résistance moyenne, puis qu'on fasse de même à l'égard des tubes 4 et 5 d'une longueur double et triple, on obtient les résultats suivants :

Longueurs	cent.	48. 26	96. 52	152. 40
Résistances observées	kil.	10. 78	4. 57	3. 02
Résistances calculées en raison inverse des longueurs		10. 78	4. 95	3. 17

Le même fait se rencontre partout où les résultats des expériences n'ont pas été notoirement viciées par quelque cause accidentelle. Ainsi, par exemple, le tube 9, de 15. 24 de diamètre, comparé aux tubes 10 et 11, d'une longueur moitié moindre, a offert une résistance moitié de ces derniers. Il en est de même des tubes 18 et 20, de 30 centimètres de diamètre. On pourrait multiplier les exemples, et l'on arrive ainsi forcément à cette première conclusion *inattendue :*

Que, dans des tubes de même diamètre et de même épaisseur soumis à une pression extérieure, les résistances sont en raison inverse des longueurs.

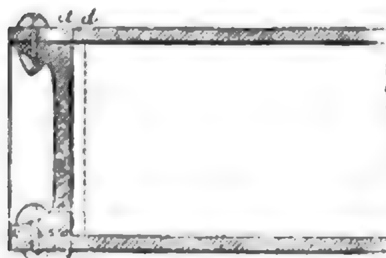
6. Au premier abord on est porté, comme l'a été M. Fairbairn, à attribuer cette influence de la longueur à la manière dont les extrémités des tubes sont attachées et retenues; de sorte que, pour arriver à la rupture, il y aurait à vaincre à la fois la résistance à la compression des tubes et une certaine résistance à la traction. Je ne partage pas cette manière de voir. Elle ne me paraît pas confirmée par les expériences, ainsi que semble le croire M. Fairbairn. En effet, s'il s'établissait un certain état de tension dans les tubes, ils auraient dû fréquemment, sinon toujours, se détacher des disques en fonte qui les retenaient, soit en

les brisant, soit en arrachant les rivets ; et de plus, dans ces cas là, les résistances auraient dû être des *maxima*. Or, M. Fairbairn reconnaît (page 397 de son mémoire) que ce phénomène s'est produit très rarement. On n'en découvre, en effet, dans ses expériences, que deux exemples, les numéros 7 et 8, et l'on remarque que les pressions observées, comparées à d'autres obtenues dans des circonstances différentes (nos 10 et 11), ainsi qu'à la loi générale qui exprime la résistance des tubes, sont *des minima*.

Ce ne sont pas les seules raisons que l'on peut invoquer contre l'opinion de M. Fairbairn : car rien n'est plus facile que de tourner contre lui les expériences spéciales qu'il a faites en vue de confirmer sa manière de voir. En effet, les 6 tubes formant la série de 25 à 30 ont été expérimentés sans étai intérieur, et sans être retenus comme les autres par de fortes tiges boulonnées aux couvercles de l'appareil. Malgré cela, sur 6 expériences, il n'y en a eu qu'une seule, le n° 30, qui ait donné un résultat notoirement au-dessous de ce que l'on aurait dû obtenir, un peu plus de moitié. En cherchant bien, on aurait sans doute trouvé la cause de cet écart de la loi générale, que l'on peut sans crainte appeler *une anomalie*, en présence des résultats réguliers fournis par les autres expériences faites dans les mêmes conditions. Ainsi le n° 25 n'a pas d'analogue dans les tubes étayés, mais on voit que, comparé au résultat calculé par la loi qui gouverne la résistance de ces derniers tubes, c'est un *maximum*. Le n° 26, qui est pareil au n° 13 étayé et retenu, a offert une résistance peu inférieure à ce dernier, tandis que le n° 27, pareil au n° 5, à offert une résistance un peu supérieure. Le n° 29 est aussi un *maximum*. Bref on peut dire que les tubes non retenus et non étayés ne se sont pas montrés inférieurs aux autres. Ce n'est donc pas *dans la fixation des extrémités du tube qu'il faut chercher la cause des variations de résistance qui accompagnent les changements de longueur*.

7. Cette cause, à mon avis, réside purement et simplement

dans la rigidité de la cloison ou disque qui termine les tubes, et dont l'influence, pareille à une augmentation d'épaisseur, se fait sentir au point où elle existe, et de proche en proche, jusqu'à une certaine distance.



On peut expliquer ce phénomène très-simplement de la manière suivante : Je suppose un tube fermé à son extrémité par un disque comme ceux expérimentés (fig. ci-contre) ; si dans ce tube on considère l'anneau très-étroit *abcd* contigu au disque, on reconnaîtra que cet anneau ne peut céder qu'en se séparant par cisaillement, suivant le plan *ab*, de la partie du tube qui enveloppe le disque ; de sorte que la résistance de cette partie à l'aplatissement s'augmente de la résistance de la tôle au cisaillement. De *ab* vers *cd* cette somme de résistance va en décroissant naturellement. Mais il n'en est pas moins vrai que sur la ligne *cd* l'anneau peut offrir encore une résistance plus grande que dans les autres parties plus éloignées des extrémités. Il résulte de là que l'anneau *abcd* augmente la résistance de l'anneau suivant comme la sienne l'a été par le disque, mais à un degré moindre puisqu'il est moins rigide. Il en est de même du troisième anneau par rapport à un quatrième et ainsi de suite, jusque vers le milieu du tube, où la résistance est évidemment un *minimum*.

On voit par cette théorie, confirmée d'ailleurs par les expériences spéciales des nos 25, 26, 27, 28 et 29, que l'accroissement de résistance des tubes comprimés est dû, tout simplement, à la rigidité que l'on communique à leurs extrémités par des disques, ou à un mode d'assemblage équivalent, comme celui des chaudières. Cela étant, si l'on ajoute sur la longueur d'un tube des anneaux suffisamment rigides, chacune des parties en lesquelles ce tube sera ainsi divisé se comportera comme un tube isolé du reste, plus court, et par conséquent plus résistant; c'est ce qui est arrivé, en effet, avec le tube n° 6, dont la résistance, comparée à

celle du précédent de même longeur, a été triplée en le divisant en trois par deux disques en fonte très rigides. Si ces anneaux n'offrent pas une solidité suffisante, le tube doit se comporter plus ou moins comme s'il était d'une seule pièce, l'influence des anneaux pouvant se borner à déterminer un léger accroissement de résistance. C'est ce qui est arrivé avec le tube n° 31, qui, calculé d'après la loi, comme s'il n'avait pas de nervures de renfort, donne un résultat légèrement inférieur à celui de l'expérience.

M. Fairbairn, ayant adopté une autre manière de voir au sujet de la cause qui faisait varier la résistance des tubes en raison inverse de la longueur, s'est trouvé assez embarrassé devant les résultats des expériences sur les tubes non étayés ; en outre, ne s'étant pas rendu compte que, pour avoir le bénéfice d'une augmentation de résistance par l'application d'anneaux extérieurs, il fallait que ces anneaux eussent un certain degré de rigidité, il ne lui est pas venu à l'idée que ceux divisant les tubes 31 et 32 en trois tronçons étaient insuffisants; et, comme il comptait que ces tubes lui fourniraient, comme le n° 6, une résistance triple de celle d'un tube ayant trois fois la longeur d'un tronçon, il a été conduit à admettre les résultats des expériences sur les n^{os} 31 et 32 comme deux anomalies.

Après ce qui précède, il est évident que c'est une erreur; et l'ingénieur anglais se trompe également lorsqu'il conclut de l'expérience n° 32, sur un tube en acier, qu'un tube en fer eût présenté une résistance aussi grande. Si l'on compare la résistance qu'il a offerte à celle déduite du calcul d'un tube de même dimension supposé en fer, en tenant compte de la légère augmentation due aux anneaux, qui, d'après l'exemple du tube précédent, paraît être de 1/8 seulement, on trouve, au contraire, que le tube en acier présente une résistance supérieure de 20 0/0 à celle du tube en fer.

8. Si l'on passe maintenant à l'examen de la forme que prend le tube en cédant, on remarquera que cette forme est varia-

ble, quoique très régulière dans certaines limites. Les formes obtenues sont au nombre de 6, et le nombre de chacune d'elles, sur 28 faits d'observation, se divise ainsi qu'il suit :

Forme applatie des deux côtés. 7
Forme applatie imparfaitement, se rapprochant de la forme triangulaire. 3
Forme triangulaire. 10
Forme quadrangulaire ou en croix. 4
Forme applatie d'un côté, annonçant la formation d'un polygone. 3
Forme pentagonale. 1

La forme la plus fréquente est celle de section triangulaire : il y en a 10, à la rigueur 13, c'est-à-dire près de la moitié. Si l'on recherche à quelle cause le plus ou moins de fréquence de ces formes peut être due, on trouve qu'elle correspond à un certain rapport de la longueur du tube à son diamètre. Ainsi, lorsque ce rapport ne dépasse pas 4, la section de rupture parait affecter indifféremment la forme en croix, pentagonale, ou aplatie d'un seul côté. Quand ce rapport atteint 5 et s'écarte peu au-dessous, elle est invariablement triangulaire. Enfin, toutes les formes aplaties des deux côtés appartiennent non moins invariablement à des tubes relativement longs, comparés aux précédents, et pour lesquels le rapport de la longueur au diamètre varie de 7 1/2 à 13.

En résumé, les formes polygonales, eu égard aux tubes de même diamètre, sont l'indice d'une plus grande résistance. On comprend en effet qu'il doit falloir une plus grande force pour amener un tube à cette forme, où le métal est plié au même instant trois ou quatre fois sur lui-même, que pour l'applatir simplement. C'est à produire ces formes et les modes particuliers de résister qu'elles décèlent, que se résout, en définitive, la consolidation d'un tube à ses extrémités ou sur sa longueur, au moyen d'anneaux rigides. Ce détail, qui a son intérêt en ce qu'il com-

plète les vues que j'ai exposées plus haut sur le mode de résister des tubes comprimés, a échappé à M. Fairbairn, bien qu'il ait pris un soin tout particulier pour reproduire en coupe et en élévation les déformations subies par les tubes expérimentés.

9. Le diamètre des tubes et leur épaisseur ont naturellement une influence sur la résistance, et cela se conçoit *à priori*. En ce qui concerne le diamètre, elle agit comme la longueur, en raison inverse de son accroissement, ainsi que cela résulte d'ailleurs du rapprochement ci-après de tubes de même longueur, de même épaisseur, mais de diamètres variant du simple au double.

Nos des tubes		diamètres		longueurs		résistances.
2	—	10.16	—	101.60	—	4 .57
13	—	20.32	—	101.60	—	2 .18
9	—	15.24	—	149.86	—	2 .25
19	—	30.48	—	152.40	—	0 .87

On voit par ces exemples, que l'on pourrait multiplier, en y trouvant toutefois plus ou moins d'écart, que les résistances sont en raison inverse des diamètres; de sorte que l'on peut prévoir que, dans la formule exprimant cette résistance, la longueur et le diamètre devront apparaître au dénominateur et à la première puissance.

10. En ce qui concerne l'influence de l'épaisseur, les éléments manquent pour l'établir facilement et directement : car, dans les tubes expérimentés de forte épaisseur, il ne s'en trouve aucun qui présente, sous les autres rapports, les mêmes dimensions que les tubes plus minces. Le n° 33, de 0c,317 d'épaisseur, est celui qui se rapproche le plus du n° 29, de 0c.109 d'épaisseur; encore faut-il, pour opérer le rapprochement, ramener le diamètre du premier à celui du second et modifier sa résistance, ainsi qu'on vient de le voir, en raison inverse du diamètre. En effectuant

ces transformations, on obtient les résultats comparatifs suivants :

Nᵒˢ des tubes	—	diamètre	—	longueur	—	résistance	—	épaisseur.
33	—	30.48	—	152.40	—	10.60	—	0.317
19	—	30.48	—	152.40	—	0.87	—	0.109

ce qui semblerait établir que la résistance varie dans une proportion un peu plus grande que le carré de l'épaisseur. Cependant on verra plus loin que l'épaisseur entre dans la formule d'une manière plus compliquée ; et que cette dimension, affectée d'un exposant compris entre deux et trois, comme l'a admis M. Fairbairn, ne répond pas encore suffisamment à tous les cas d'expérience.

11. Il ne me reste plus, pour compléter l'analyse des expériences qui précèdent, qu'à signaler celles faites par l'ingénieur anglais sur des tubes de forme elliptique. Ainsi qu'on devait le prévoir, ces tubes ont dénoté une très grande infériorité par rapport aux tubes cylindriques, qui ont été reproduits à la suite et qui s'en rapprochent le plus par les dimensions. Evidemment M. Fairbairn aurait pu se dispenser de faire et de produire ces expériences, du moment qu'elles n'étaient pas en nombre suffisant pour tracer la loi suivant laquelle décroissait la résistance de ces tubes à mesure que le rapport des deux diamètres augmentait. Je ne m'arrêterai donc pas plus longtemps sur ce point. J'en profiterai seulement pour faire remarquer que dans des tubes comprimés, dans lesquels il est difficile d'obtenir une forme cylindrique parfaitement régulière, surtout par le procédé généralement adopté dans la pratique de faire les joints par recouvrement avec une seule file de rivets (1), on ne peut s'attendre à des résultats aussi réguliers, aussi concordants avec la loi qui

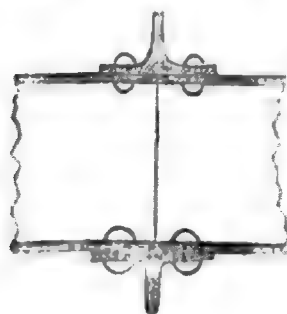
(1) D'après la comparaison des tubes 19 et 20, le premier, rivé par superposition, et le second avec un couvre-joint et deux files de rivets, il ne paraît pas cependant que ce dernier mode de rivure présente aucun avantage sur l'autre, puisque sa résistance n'est pas le double de celui-ci. Cela tiendrait-il à ce que la cylindricité est aussi difficile à obtenir dans un cas que dans l'autre?

les gouverne, que le seraient ceux obtenus sur des cylindres soumis à des pressions intérieures, et pour lesquels une imperfection dans la cylindricité n'est d'aucune importance. Malgré cette observation, je m'empresse de faire remarquer que l'accord des résultats obtenus, avec la loi que j'établirai plus loin, a été beaucoup plus grand que je ne l'espérais, eu égard à l'imperfection que j'ai eu fréquemment l'occasion d'observer dans les conduits de fumée; et que l'approximation obtenue par le calcul, en tenant compte des coefficients de sécurité ordinaire, est tout-à-fait suffisante pour rassurer le praticien et le mettre à l'abri de tout mécompte.

12. En résumé, on peut tirer de l'analyse qui précède les conclusions suivantes :

1° La résistance des tubes en tôle à une pression extérieure est proportionnelle à une puissance peu éloignée du carré de l'épaisseur. Elle est en raison inverse de la longueur et du diamètre.

2° L'influence de la longueur est due à la rigidité que les extrémités du tube empruntent à leur mode d'attache et à la manière dont cette rigidité se propage, de proche en proche, jusques vers le milieu du tube, et nullement *à la fixation de ces extrémités* et à leur impossibilité de se rapprocher. Bien que je ne sois pas d'accord avec M. Fairbairn sur ce point, j'en tire avec lui, mais avec plus de raison, la conclusion que, pour augmenter



la résistance d'un tube du double ou du triple, il suffit de partager sa longueur en deux ou trois parties par des anneaux de renfort d'une rigidité suffisante, ce que l'on obtiendrait probablement en substituant au couvre-joint ordinaire un fer à T comme dans la figure ci-contre. Toutefois les expériences de M. Fairbairn laissent à désirer sur ce point, en ce qu'elles ne sont pas assez nombreuses, et qu'il a négligé de nous faire savoir quelles devraient être les

proportions de la nervure pour qu'elle ait toute l'efficacité désirable.

3° L'application des nervures à l'extérieur du tube, en fractionnant la longueur, détermine des modes de résister qui se traduisent par diverses formes de section de rupture qui expliquent l'accroissement de résistance.

4° Le mode de rivure ne paraît pas avoir d'influence notable sur le degré de perfection de la cylindricité et par suite sur la résistance. La rupture ne s'effectue jamais d'ailleurs par la rivure.

5° Les tubes en acier, en tant que l'on peut tirer une conclusion d'un seul cas d'expérience, et cette réserve doit aussi être faite à l'égard de la conclusion qui précède, paraissent présenter une résistance beaucoup plus grande que les tubes en fer.

Art. 3. *Recherche de la loi qui gouverne la résistance des tubes en tôle, à rivure simple, à une pression extérieure.*

13. Par un procédé assez long et assez bizarre, qu'il n'y a aucun intérêt à reproduire, M. Fairbairn, ou plutôt M. Tate, son collaborateur, est arrivé à exprimer la résistance des tubes à une pression extérieure par la formule suivante :

$$P = 806,300 \times \frac{E^{2.19}}{LD}$$

dans laquelle le diamètre D et l'épaisseur E sont exprimés en pouces, la longueur L en pieds et la résistance P en livres par pouce carré.

Pour les tubes d'une grande épaisseur et d'une grande longueur, M. Fairbairn exprime l'avis que l'on arrive à des résultats suffisamment exacts pour la pratique en substituant l'exposant 2.00 à l'exposant 2.19.

En transformant la formule ci-dessus de manière à ce que les dimensions soient en millimètres, et à ce que P exprime la pression en kilogrammes par centimètre carré, on obtient :

$$P = 677{,}292 \frac{E^{2.19}}{LD}$$

L'application de cette formule aux tubes 3, 33 et B, avec l'exposant 2, donne les résultats suivants :

Tube	3,	P	=	8 kil. appr.,	au lieu de		4.57
Tube	33,	P	=	12	»	»	8.78
Tube	B,	P	=	8.92	»	»	7.50

L'application de la formule avec l'exposant 2.19 donnerait un résultat plus rapproché pour le tube B, mais s'écarterait plus encore des deux autres. Malgré le *satisfecit* qui lui est donné par M. Fairbairn, il est impossible d'admettre qu'elle donne une approximation suffisante pour la pratique, parce que, d'abord, il est impossible d'être fixé d'une manière précise sur ce que cet ingénieur entend par tube long et épais ; cela dépend du rapport des dimensions. A ce titre, le tube n° 3 peut aussi bien que le tube B être considéré comme un tube long et épais, attendu que le rapport de son diamètre à son épaisseur est le même, et que le rapport de sa longueur au diamètre est plus grand. En second lieu, on rencontre dans les chaudières à tubes intérieurs de fumée toutes les dimensions possibles, depuis 4 centimètres jusqu'à 1 mètre; et, comme la tendance est vers l'adoption des petits diamètres rapprochant les chaudières du système tubulaire des machines locomotives, il s'ensuit qu'il y a au moins autant d'intérêt à avoir une formule qui résolve ces cas aussi bien que ceux dont M. Fairbairn paraît s'être seulement préoccupé. Je pense donc que les ingénieurs français seront d'avis de rejeter la formule proposée par l'expérimentateur, surtout lorsque j'aurai mis à leur disposition une nouvelle formule d'une résolution plus facile, et satisfaisant à tous les cas renfermés dans les limites de l'expérience avec une égale approximation.

Pour arriver à une plus grande concordance, M. Fairbairn produit une troisième formule, qui, traduite comme la précédente, est la suivante :

$$P = 677,292 \frac{E^{2,19}}{LD} - 0.000\,14 \frac{D}{E}.$$

On peut s'assurer facilement que cette modification, dont M. Fairbairn ne donne pas la source, ne rend pas sa formule plus générale. Il n'y a pas lieu de s'y arrêter plus qu'aux précédentes.

14. Je procède donc immédiatement à la recherche de la nouvelle formule.

Pour cela, j'aurai recours à la méthode générale que j'ai employée pour déterminer la loi de la résistance des piliers ou colonnes en fonte et en fer (1). Ce procédé repose sur le principe que, toute loi de résistance doit pouvoir être exprimée par l'équation d'une droite ou d'une courbe parabolique ; ce qui revient à dire que tous les éléments variables de la question, en quelque nombre qu'ils soient, doivent, au moyen de certaines combinaisons plus ou moins faciles à obtenir, pouvoir être ramenées à deux termes variables seulement, augmentant ou diminuant ensemble, de manière à représenter les coordonnées de la droite ou de la courbe qu'il s'agit de déterminer.

15. Dans la question actuelle, les éléments sont au nombre de 5, dont 4 sont variables, à savoir :

P, La pression extérieure par centimètre carré sous laquelle le tube s'affaisse ;

C, La résistance *maximum* à la compression de la tôle dont le tube est composée, en fonction de laquelle P doit être exprimée ;

D, Diamètre du tube expérimenté ;

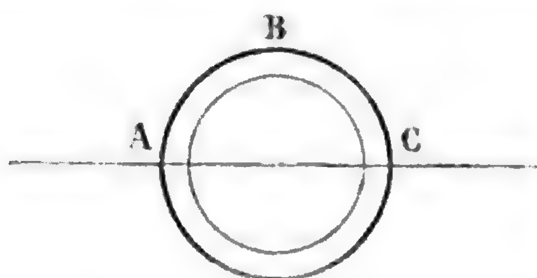
L, Sa longueur ;

E, Son épaisseur.

Pour grouper ces divers éléments en deux termes remplissant la condition de varier dans le même sens, on peut considérer dans le tube un anneau de 1 centimètre de largeur sur la moitié ABC duquel la pression totale sera exprimée par PD ; cette pression se transmet intégralement en A et C à la tôle, de manière

(1) Voir mon mémoire sur la résistance du fer et de la fonte, etc. p. 41.

à soumettre cette tôle à une pression par centimètre carré de section exprimée par $\frac{PD}{2E}$;



d'un autre côté, cette pression elle-même peut être exprimée en fonction de la résistance maximum à la compression de la tôle, C; elle est évidemment une fraction de la résistance maximum 2CE de la section considérée; et comme on a vu dans l'analyse qu'elle variait en raison inverse de la longueur du tube, elle doit avoir la forme $\frac{2CE}{L}$. Arrivé à ce point, j'ai trouvé l'emploi de tous les éléments de la question. Il ne reste plus qu'à calculer les termes $\frac{PD}{2E}$ et $\frac{2CE}{L}$ et à voir s'ils peuvent être pris pour les ordonnées de la ligne dont il s'agit de déterminer la forme.

16. Pour cela, j'ai établi le tableau suivant, dans les deux dernières colonnes duquel on trouve les rapports en question :

Numéros des tubes.	Dimensions du tube.			P	$\frac{PD}{2E}$	$\frac{2CE}{L}$
	E	L	D			
1	2	3	4	5	6	7
1 et 2	0.109	48.20	10.16	10.78	500	18
3	id	101.60	id	4.57	210	8.60
4	id	96.52	id	4.57	222	9.10
5	id	152.40	id	3.02	144	5.70
8	id	78.60	15.24	8.30	229	11.90
9	id	149.86	id	2.25	156	5.80
10 et 11	id	76.20	id	3.86	266	11.42
13	id	76.20	20.32	2.74	255	11.42
14	id	99.06	id	2.25	307	8.78
15	id	101.60	id	2.18	203	8.60
16	id	117.00	25.34	1.33	154	6.85
17	id	76.10	id	2.32	270	11.42
18	id	148.59	30.98	0.77	100	5.84
19	id	152.40	30.48	0.87	113	5.70
20	id	76 20	id	1.54	217	11.42
22	0.630	154.94	47.62	29.51	1120	32.60
24	0.355	93.98	22.86	26.56	960	30.20
33	0.317	152.40	37.14	8.78	515	16.60
A	0.952	1066.78	106.68	6.82	382	7.20
B	0.952	761.98	106.68	8.92	500	10.00

17. Au premier coup d'œil jeté sur les colonnes 6 et 7 du tableau, on voit que les rapports varient en général dans le même sens. On remarque, en outre, qu'un certain nombre de ces rapports diffèrent si peu les uns des autres, que l'on peut les grouper ensemble et en tirer une moyenne.

Tels sont ceux relatifs :		$\frac{PQ}{2E}$	$\frac{2CE}{L}$
Aux n^{os} 3, 14, 15	qui donnent les moyennes	206	8.66
Aux n^{os} 5, 9, 16	»	151	6.11
Aux n^{os} 18 et 19	»	111	5.77
Aux n^{os} 8, 10, 11, 13, 17 et 20	»	247	11.51

Cela fait, les rapports se réduisent à 11, qui, rangés dans l'ordre de leur grandeur, sont les suivants :

Rapports, etc.	Numéros des tubes auxquels les rapports correspondent.										
	18.19	5.9.16	3.14.15	4	8.10.11 13.17.20	A	B	1 et 2	33	24	22
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\frac{PD}{2E}$	111	151	206	222	247	382	500	500	515	960	11.20
$\frac{2CE}{L}$	5.77	6.11	8.66	9.10	11.51	7.20	10.00	18.00	16.60	30.20	32.60
10E	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	9.52	9.52	1.09	3.17	3.55	6 30
$\frac{2CE}{L}+10E$	6.86	7.20	9.75	10.19	12.60	16·72	19.52	19.09	19.77	33·75	38·90
								19.46			

18. En examinant attentivement les deux espèces de rapports et les comparant, on remarque que ceux relatifs aux tubes d'une même épaisseur augmentent ensemble d'une manière régulière, tandis que ceux relatifs aux tubes d'une plus forte épaisseur variant de 0^{c},317 à 0^{c},952, tout en augmentant ensemble dans le

Digitized by Google

même sens, s'écartent en ce qui concerne les rapports $\frac{2CE}{L}$ de la loi qui semble régir les autres, et d'autant plus que l'épaisseur est plus grande.

Cela fait naturellement naître l'idée de rechercher si l'écart en question n'est pas une certaine fonction de l'épaisseur ; ayant donc vérifié de combien les rapports dissidents s'écartaient au-dessous de ce qu'ils auraient dû être pour rentrer dans la loi qui régit les autres rapports, j'ai trouvé que ces écarts étaient assez exactement représentés par 10E. Cela étant, il était aisé de voir qu'en ajoutant 10E à tous les rapports $\frac{2CE}{L}$ les rapports dissidents rentreraient dans la loi, tandis que les autres s'écarteraient assez peu de leur valeur primitive pour s'y maintenir. C'est ce que j'ai fait, ainsi qu'on peut le voir dans le tableau qui précède, et où l'on remarquera en outre que, par suite de cette modification, les rapports des colonnes 8, 9 et 10, se rapprochent tellement qu'ils peuvent être réunis en deux moyennes, de manière que finalement, tous les rapports $\frac{PD}{2E}$ et $\frac{2CE}{L} + 10E$, se réduisent aux suivants :

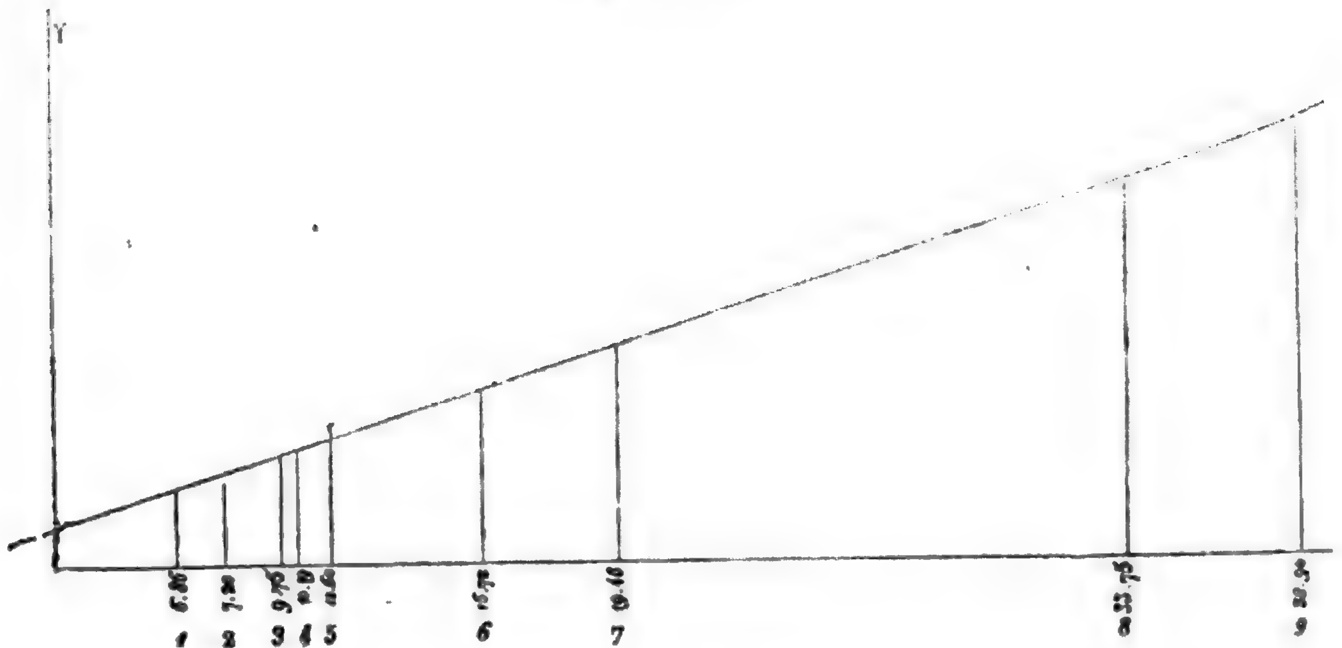
$\frac{PD}{2E}$, 111 — 151 — 206 — 222 — 247 — 382 — 505 — 960 — 1120

$\frac{2CE}{L} + 10E$, 6.86—7.20—9.75—10.19—12.60—16.72—19.46—33.75—38.90

19. Cela fait, si l'on prend deux axes perpendiculaires O Y et O X (figure ci-après), et que l'on y porte en abcisses les valeurs $\frac{PD}{2E}$ et en ordonnées celles de $\frac{2CE}{L} + 10E$, et que l'on cherche à réunir tous les points ainsi obtenus, on trouve qu'ils le sont aussi exactement que possible par une droite rencontrant l'axe des Y à une hauteur $b = 3.50$.

Cette droite est donc exprimée par l'équation

$$y = ax + b,$$



dans laquelle il ne reste plus qu'à déterminer la valeur de a. Or cette valeur, tirée au moyen de l'expression $a = \frac{y-b}{x}$, appliquée aux coordonnées 2, 4, 7 et 9 de la figure, a donné les résultats suivants :

$$a_1 = \frac{6.86-3.50}{111} = \frac{3.86}{111} = 0.0305$$

$$a_4 = \frac{10.19-3.50}{222} = \frac{6.69}{222} = 0.0301$$

$$a_7 = \frac{19.46-3.50}{505} = \frac{15.96}{505} = 0.0316$$

$$a_9 = \frac{30.90-3.50}{1120} = \frac{25.40}{1120} = 0.0315$$

valeurs de a dont la somme $= 0.1237$

et dont la moyenne est parconséquent 0.0312.

Introduisant pour x, y et a leurs valeurs ou expressions réelles, on obtient :

$$\frac{2CE}{L} + 10E = 0.0312 \frac{PD}{2E} + 3.50.$$

On tire de là :

$$P = \frac{4CE^2 + 20LE^2 - 7LE,}{0.0312\ LD},$$

et finalement, en divisant haut et bas par 4, et mettant, au numérateur, LE, en facteur commun :

$$P = \frac{CE^2 + LE\ (5E - 1.75)}{0.078\ L \times D}$$

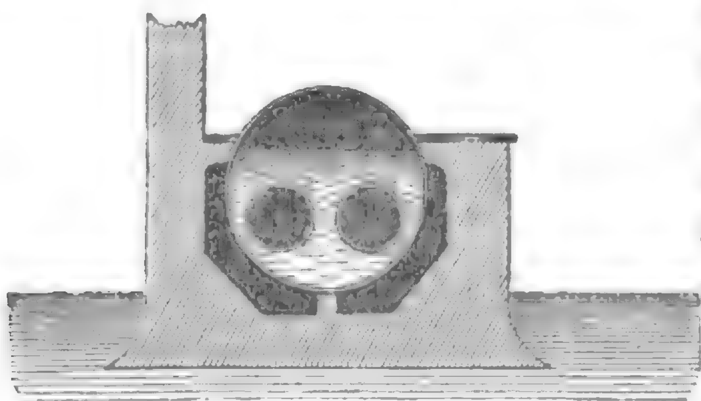
20. Si l'on applique cette formule à tous les cas d'expérience, on trouve les résultats inscrits dans l'avant dernière colonne du tableau n° 1 de ce mémoire, que l'on reconnaîtra s'accorder d'une manière très-convenable et très-suffisante avec les résultats d'expérience. On peut juger, du reste, de la supériorité de cette formule par le rapprochement ci-après des résultats qu'elle donne avec ceux fournis par la formule de M. Fairbairn, et par l'expérience :

		Résultats obtenus par				
		l'expérience.	—	ma formule.	—	la formule de M. Fairbairn.
Tube n° 3	—	4k.57	—	4k.50	—	8k.100
Tube n° 33	—	8 .78	—	8 .78	—	13 .100
Tube B.	—	8 .92	—	9 .10	—	7 .50

Ces trois cas embrassent les tubes les plus variés et les plus extrêmes sous le rapport des dimensions. Ils montrent en même temps combien l'on peut se reposer sur ma formule pour tous les cas pratiques qui peuvent se présenter, dans les limites que j'ai fixées en commençant, et combien, au contraire, celle de M. Fairbairn est inexacte et insuffisante.

Art. 4. — Applications.

21. Etant maintenant en possession de deux formules qui permettent de calculer l'enveloppe extérieure d'une chaudière et les tubes intérieurs, on peut examiner la question de savoir si la pratique a rencontré juste, en fixant par tâtonnement les dimensions de l'une des parties de ces appareils importants. Je prendrai pour premier exemple une chaudière de l'espèce représentée par la figure ci-contre, mais à un seul conduit intérieur. Il s'agit d'une de celles destinées au « *North western railway company,* » dont M. Fairbairn rapporte les dimensions, et à laquelle l'un des conduits A et B expérimentés appartenait. Comme il est d'usage en Angleterre, l'enveloppe extérieure de ces chaudières avait la même épaisseur que leur conduit de fumée, c'est-à-dire $0^c.952$. D'un autre côté, leur diamètre étan de $2^m.13$, leur résistance était exprimée par la valeur de N dans la formule (1),



$$E = N \times 0.86 \frac{D}{T},$$

c'est-à-dire par

$$N = \frac{TE}{0.86\ D},$$

et par conséquent

$$N = \frac{3600 \times 0^c.952}{0.86 \times 213} = \frac{3427}{183} = 18 \text{ at. } 80, \text{environ,}$$

soit environ 18 kilog. par cent. carré de surface. Or, on a

(1) Voir mon ouvrage sur la résistance et autres propriétés du fer et de la fonte, page 186.

vu que la résistance du tube à fumée de la chaudière A n'était que de 6k.82; celui de la chaudière B de 8k.50; c'est-à-dire, dans un cas, un peu plus du tiers de la résistance de l'enveloppe extérieure, et dans l'autre, moins de moitié. Les chaudières anglaises travaillant habituellement au 1/6 de leur résistance absolue, soit pour le cas actuel à 3 kilog., on voit que le tube à fumée de la chaudière A devait travailler à la moitié de sa résistance réelle, et l'autre au tiers. C'est évidemment trop, surtout si l'on tient compte des causes d'oxydation et d'affaiblissement, qui sont plus grandes pour le tube à fumée que pour le corps de la chaudière; de telle sorte que, si l'on devait faire une différence, elle devrait être, évidemment, dans le sens inverse.

22. A côté de cet exemple de disproportion, dans un certain sens, des deux parties d'une chaudière, j'en rapporterai un autre dans le sens inverse, qui m'est personnel, et qui est relatif à la chaudière d'alimentation des chemins de fer du Midi. En examinant le projet de cette chaudière, qui avait été fait par le constructeur M. Nepveu, je fus frappé de l'épaisseur énorme donnée au tube à fumée, dont le diamètre était très-petit. Mais, n'ayant aucun élément à ma disposition pour discuter cette dimension et sentant combien c'était un point délicat, je le laissai passer, et la chaudière fut en conséquence établie avec les dimensions suivantes:

Corps extérieur de la chaudière.

Diamètre 80 cent., Epaisseur 1 cent.

Tube à fumée.

Longueur 100 cent., Diamètre 21, Epaisseur 0 cent. 8.

Pression effective de la vapeur : 5 atmosphères.

La résistance de l'envelope extérieure est :

$$N = \frac{3600 \times 1,80}{0.86 \times 80} = \frac{3600}{688} = 52 \text{ at. } 1/2 \text{ environ,}$$

soit à peu près 51 kil. par cent. q. de surface.

La résistance du tube à fumée est

$$P = \frac{2560 + 80\,(5 \times 0.8 - 1.75)}{0,0078 \times 100 \times 21} = \frac{2740}{16.40} = 167 \text{ kil. (1)},$$

c'est-à-dire que le tube à fumée présente une résistance trois fois plus grande que celle du corps extérieur de la chaudière. Il y a donc, de ce côté, toute sécurité; à moins cependant qu'un excès d'épaisseur ne rende la tôle plus apte à chauffer, par suite à se brûler et à se détériorer plus rapidement; ce qui est à prendre en considération. Une épaisseur trop grande est d'ailleurs défavorable à la transmission du calorique. Je ne recommanderai donc, à aucun titre, de prendre, pour exemple, la chaudière du midi, pas plus que celle mentionnée par M. Fairbairn.

23. Cette même chaudière a encore des petits tubes à fumée de 1 mèt. de long, de 5 c. de diamètre extérieur, et de 2 mill. d'épaisseur. Ils sont en laiton, comme ceux des machines locomotives; mais, comme la résistance des deux métaux est la même, on peut essayer de contrôler, dans une certaine mesure, les tubes en question. L'application de la formule donnerait

$$P = \frac{160 + 36\,(1.00 - 1.75)}{0.0078 \times 900} = \frac{133}{7} = 19 \text{ kil.},$$

soit à peu près 19 atmosphères. Mais il est certain que la résistance de ces tubes est beaucoup plus grande, puisque ceux des locomotives, qui sont exactement les mêmes, sauf la longueur qui est double, ne rompent guère que lorsqu'ils ont été réduits des deux tiers par l'usure, soit à environ $0^m.07$. Dans ce cas, la pression de rupture est encore de 6 atmosphères, tandis que la formule ne leur attribuerait, sous la longueur de 1.00, que

(1) Ce chiffre est probablement un peu fort, le cas sortant des limites dans lesquelles la formule est strictement applicable, et dans un sens où cette formule tend à donner des résultats trop grands.

$0^{c t}.30$. La formule est donc ici positivement en défaut. Cela tient à ce que les dimensions relatives du tube sont en dehors des limites dans lesquelles les expériences ont été faites. En effet, le rapport $\frac{L}{D} = 30$, tandis que, dans les expériences, il n'a pas dépassé 15. Le rapport $\frac{D}{E} = 23$; celui des tubes expérimentés n'a pas descendu au-dessous de 36. *A fortiori* les tubes des machines locomotives échappent à la règle. Il serait donc à désirer, pour combler cette regrettable lacune, que l'on entreprît une autre série d'expériences, dans laquelle les diamètres des tubes varieraient de 5 à 10 centimètres, les longueurs de 15 à 70 fois le diamètre, et les épaisseurs, du 1/20e au 1/30e du diamètre.

24. En attendant, si l'on s'appuie, d'une part, sur ce fait que, dans les tubes pour lesquels $\frac{L}{D}$ dépasse 15, l'influence de la longueur diminue rapidement, au point que pour les longueurs les plus petites sous lesquelles ceux des locomotives sont employés cette influence est nulle, et que, par suite, ils doivent être régis par une formule plus simple, comme celle-ci,

$$P = a \frac{CE^2}{D};$$

si, d'autre part, on s'appuie sur cet autre fait, déjà cité dans le cours de ce paragraphe, que, généralement, l'écrasement des tubes des machines locomotives s'effectue sous une pression d'environ 6 kilog., et lorsque le tube est réduit par l'usure à une épaisseur de $0^c. 07$, en prenant ce tube comme un cas suffisamment probant d'expérience, et en introduisant les données dans la formule ci-dessus, c'est-à-dire

$$E = 0.07, \qquad D = 4^c. 60 + 0.14 = 4.74,$$

on en tire

$$a = \frac{6 \times 4.74}{19.60} = 1.50,$$

aussi approximativement que possible; d'où

$$P = 1.50 \frac{CE^2}{D}.$$

Partant de là, si l'on veut savoir quelle serait la résistance d'un tube neuf de machine locomotive, on obtiendrait

$$P = \frac{6000 \times 0.04}{5} = 48 \text{ kil.}$$

Ces tubes posséderaient donc une résistance égale à huit fois la pression *maximum* qu'ils ont à supporter, et présenteraient par conséquent toute la sécurité désirable.

TABLE DES MATIÈRES

Art. 1er. — *Exposé de la question. — Expériences.*

Art. 2. — *Analyse des expériences.*

Art. 3. — *Recherche de la loi qui gouverne la résistance des tubes en tôle, à rivure simple, à une pression extérieure.*

NOTE sur la destruction des falaises de la côte du Calvados, entre Port-en-Bessin et Arromanches,

PAR

M. DE DION

En avril 1856, un effondrement considérable eut lieu dans les falaises de la côte du Calvados, entre Port-en-Bessin et Arromanches ; le 25 septembre 1859, le même phénomène se renouvela avec des proportions plus considérables. Ayant eu l'occasion de visiter les lieux peu de temps après, avec deux de mes amis, nous trouvâmes que ce bouleversement présentait des caractères particuliers, et différait de ce qui se produit habituellement dans l'érosion des falaises qui bordent nos côtes.

En général, l'éboulement des parties supérieures forme, au pied des falaises, un rempart qui les protège jusqu'au moment où, réduit en poudre et déblayé par le mouvement incessant des flots, la mer arrive à ronger les couches inférieures et détermine de nouveaux éboulements.

Dans la partie de la côte que nous étudions, il en est autrement : c'est par glissement et effondrement de parties éloignées de l'action directe de la mer qu'a lieu la destruction de la côte. L'étude des derniers bouleversements produits permet de donner l'explication de cette particularité.

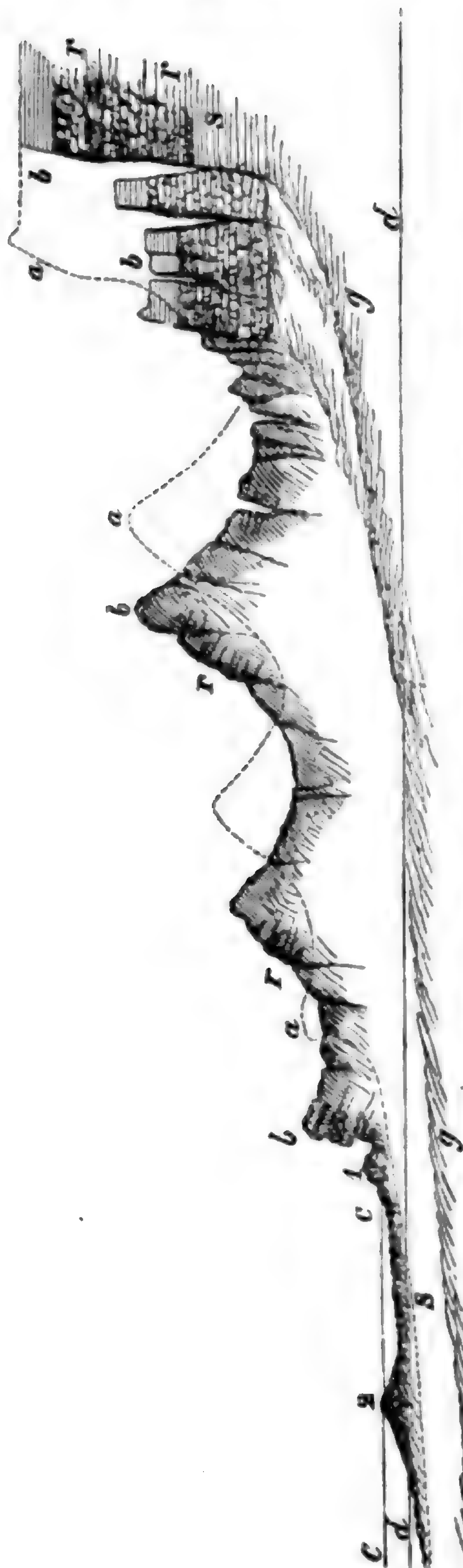
La côte du Calvados, entre Port-en-Bessin et Arromanches, est, presque constamment, élevée de 70 à 80 mètres au-dessus du niveau de la mer. Sur une longueur de 5 à 6 kilomètres elle se termine par une falaise à pic de 30 à 40 mètres, au-devant de laquelle se trouvent, sur une largeur de 150 à 200 mètres, deux ou trois rangs de collines de 40 à 20 mètres au-dessus du niveau de la mer, dont les sommets sont de moins en moins élevés en se rapprochant de la mer. Le pied du dernier monticule est battu par les vagues lors des grandes marées.

Dans toute l'étendue de la falaise où ont eu lieu les effondrements dont il va être question, les couches des terrains sont parfaitement horizontales; à la partie supérieure se trouve une couche d'argile de 8 à 10 mètres d'épaisseur; au-dessous, 30 mètres de bancs de calcaire tendre, alternés avec des parties terreuses. Ces bancs fournissent une bonne pierre de taille; l'un d'eux, de 2 à 3 mètres de puissance, se distingue par des lentilles en calcaire très-dur, disposées obliquement et dans toutes les directions au travers du banc. Il nous a servi plus particulièrement à reconnaître la provenance des rochers qui se trouvent le long de la mer.

Enfin, la moitié inférieure de la falaise se compose d'argile grise très-compacte et disposée par couches horizontales; cette formation d'argile descend en dessous du niveau de la mer; elle se trouve cachée presque partout, dans la partie du rivage que nous étudions, par les collines; mais on la découvre complétement près de Port-en-Bessin, où la mer bat le pied même de la falaise.

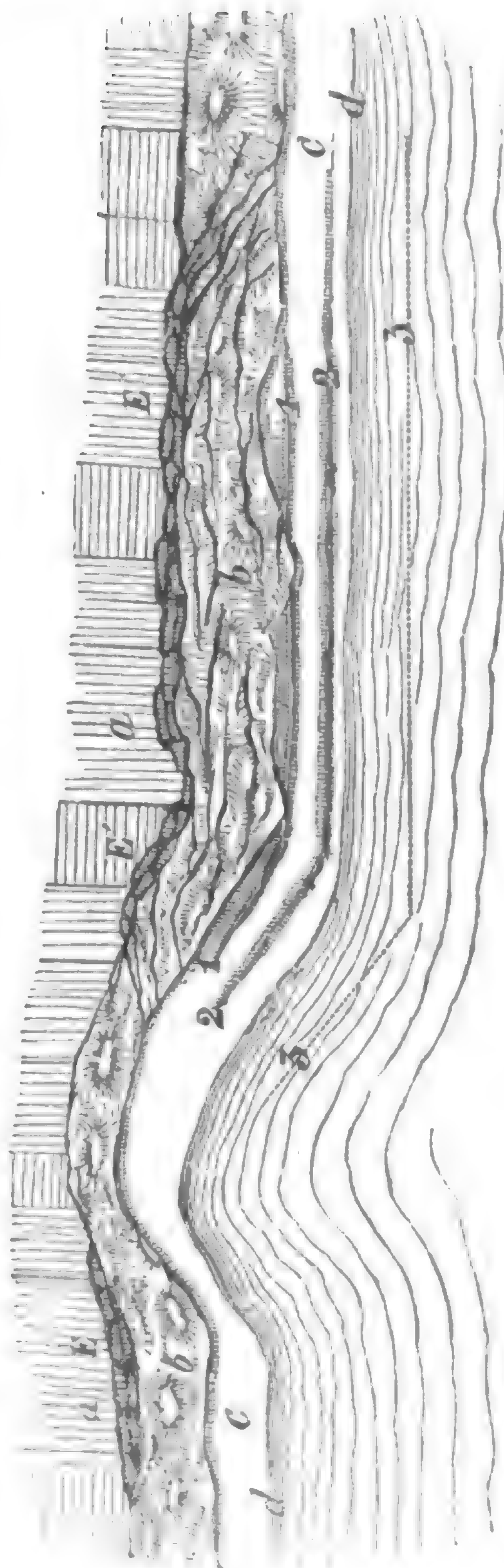
La fig. 1 indique en pointillé la coupe de la falaise avant l'effondrement. Voici maintenant la description des changements produits pendant ces dernières années : en 1856, une partie à pic de la falaise, de 300 mètres de longueur et 20 à 25 mètres de largeur, s'affaissa presque verticalement en conservant l'horizontalité des couches dont elle était formée, quoique les prismes dans

Figure 1.



a, ancien profil de la falaise. — *b*, profil actuel. — *c*, haute mer. — *d*, niveau de la basse mer. — 1, 2 relèvements. — *g*, ligne probable de glissement. — *r*, bancs de rochers. — *s*, argile.

Figure 2.



a, falaise à pic. — *b*, collines en avant de la falaise à pic. — *c*, plage. — *d*, laisse de basse mer. — *E*, effondrement de 1856. — *E'* effondrement du 25 septembre 1859. — 1, 2, 3, relèvements.

NOTA. — Ce plan a été mal gravé et doit être retourné.

lesquels elle se décomposait descendissent de hauteurs très-variables.

Le 25 septembre 1859, à côté de l'effondrement de 1856, un nouveau se produisit sur plus d'un kilomètre de longueur, mais toujours sur une largeur de 20 à 25 mètres. Pendant que la falaise s'abaissait, des soulèvements parallèles à la falaise se formaient sur la plage, parfaitement réguliers et en ligne droite, comme s'ils eussent été faits par la main des hommes (fig. 2).

Beaucoup de personnes crurent ne pouvoir expliquer ces phénomènes qu'en admettant, sous la falaise, l'existence de grandes cavernes, dans lesquelles elle s'effondrait. Mais cette explication ne peut être admise ici ; et il faut reconnaître un glissement sur les couches argileuses et humides suivant une surface qui, d'abord verticale, vient en courbe se raccorder avec un plan incliné se prolongeant jusque sous la mer.

La masse à pic de la falaise, pressant sur l'argile derrière les collines, a déterminé le glissement de ces dernières et le froncement, sur la plage, des bancs d'argile qui, rongés journellement, n'avaient plus la force de résister à la pression.

Voici les observations principales sur lesquelles se fonde mon explication :

1° Le premier relèvement, de 4 à 5 mètres, se trouve près des collines battues par les vagues des hautes mers ; on le remarque non-seulement à sa forme en dos d'âne, mais encore parce que les rochers qui se trouvent au-dessus sont recouverts de coquillages et de plantes marines qui ne peuvent exister que sur les parties baignées par les marées, tandis qu'actuellement, élevés au-dessus du niveau de la haute mer, ils sont hors de leurs conditions d'existence.

A 40 ou 50 mètres plus loin, au milieu de la plage, se trouve un second relèvement, de 5 à 6 mètres de hauteur, parfaitement rectiligne et parallèle à la direction générale de la falaise ; il

s'étend en face de toute la longueur de l'effondrement, et se termine de chaque côté en mourant.

Du côté de Port-en-Bessin, la falaise effondrée rentrant vers les terres, le relèvement se coude brusquement et se maintient parallèle à la nouvelle direction.

Les couches d'argile au niveau de la mer ont l'apparence de dureté de la pierre, et dans leur position naturelle résistent assez longtemps à la corrosion de l'eau salée; mais, en se soulevant pour former les relèvements, elles se brisent et se dissolvent rapidement au contact alternatif de l'air et de l'eau. Aussi la hauteur des relèvements a-t-elle diminuée de plus de moitié en deux mois.

Nous avons pu voir en quelques endroits, les couches d'argile mises à découvert, horizontales sur une certaine largeur, se relever brisées par la flexion et redevenir horizontales au-delà du soulèvement.

Les pêcheurs qui connaissent parfaitement la côte disent qu'il y a un troisième relèvement de 8 mètres de hauteur à 80 mètres plus loin en mer. D'après leur description, il serait parallèle au premier et également coudé du côté de Port-en-Bessin.

Une pression horizontale très-énergique et l'avancement des collines de 12 à 15 mètres est l'explication la plus naturelle de ces relèvements.

2° Les terres et les collines entre la falaise et la mer, sur une largeur de 150 à 200 mètres, sont pleines de crevasses, dont quelques-unes ont 1 mètre de largeur; toute cette masse avait donc éprouvé un mouvement considérable, une secousse violente.

Les collines se composent des rochers et des terrains supérieurs de la falaise; les assises de ces collines autrefois horizontales sont presque toutes inclinées vers la falaise, ce qui est le signe d'un mouvement brusque et horizontal du pied, allant des falaises vers la mer.

3° Nous examinâmes avec soin les crevasses qui se trouvaient

dans les collines, entre la partie qui s'était avancée en mer et celle qui n'avait pas bougé.

La principale de ces crevasses, de 2 à 3 mètres de largeur près de la dernière partie de la falaise descendue, allait vers la mer en s'écartant obliquement et diminuant peu à peu.

Plusieurs autres crevasses, de plus ou moins d'importance, affectaient la même direction. Il en résultait pour nous la confirmation évidente du glissement.

Mais, en ce moment, nous en découvrîmes une nouvelle preuve plus sensible, et qui augmenta l'idée que nous avions de l'importance des masses mises en mouvement, et de la puissance des pressions qui avaient agi.

Au pied de la partie à pic de la falaise, du côté d'Arromanches et au-delà de l'effondrement, les terres éboulées ont formé un talus à 45°, recouvert d'herbes et de plantes dont les racines entremêlées font une espèce de tapis; ce tapis, entraîné par le mouvement du fond de la vallée, s'est détaché de la falaise et est descendu de 2 mètres environ, en laissant à nu la terre fraîche. La largeur de la bande de terre découverte va en diminuant d'une manière régulière sur une longueur de 150 mètres, et elle arrive à n'être plus visible à cette distance de l'effondrement.

Toutes les collines, jusqu'à une distance considérable du grand bouleversement, ont donc éprouvé un mouvement simultané de glissement.

4° Plusieurs pêcheurs se trouvaient sur les collines, sur la plage et en mer, au moment de l'accident ; ils m'ont dit qu'ils avaient senti le mouvement, et me nommaient l'un d'eux, qui, assis sur une colline, la face tournée vers la mer, fut renversé sur le dos. C'est une nouvelle preuve du mouvement général de toute la côte et de sa direction vers la mer.

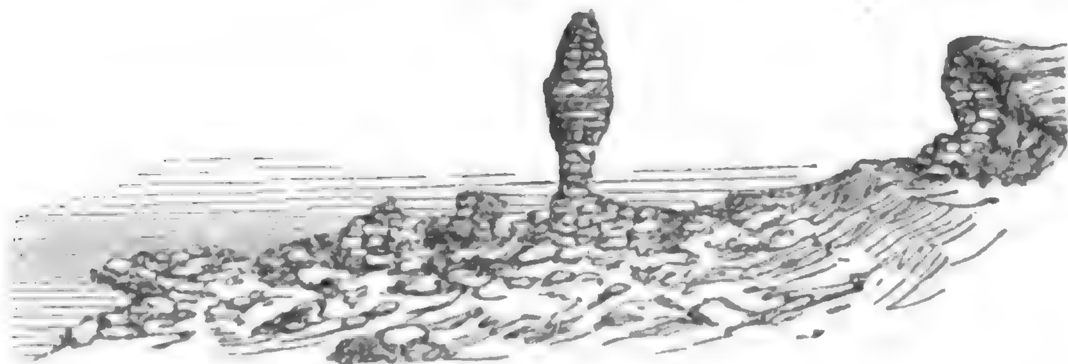
Ce mode de destruction des falaises paraît avoir été le même depuis un temps très-reculé : car on retrouve, sur 5 ou 6 kilomètres de longueur, les collines formées des rochers du haut de la fa-

laise, et ces mêmes rochers descendus successivement jusqu'au niveau de la mer.

La plupart des bancs de rochers sont inclinés vers la falaise, comme je l'ai dit plus haut; cependant quelques-uns se sont conservés horizontaux.

Il en reste, entre autres, un exemple remarquable qui excite la curiosité du voyageur : c'est un fragment des couches de rocher, qui se trouve au milieu de la plage, et dont la mer baigne le pied à chaque marée.

Figure 3.



Il a de 15 à 18 mètres de hauteur et 5 à 6 mètres de diamètre (fig. 3).

Il y a quelques années, on voyait trois fragments semblables à peu de distance les uns des autres.

L'humectation de l'argile paraît devoir être attribuée aux eaux de l'Aure.

On sait que cette rivière se perd sous terre à 3 kilomètres de la mer, derrière une partie des falaises qui se sont effondrées. Ce n'est qu'au moment des crues que cette rivière inonde la vallée jusqu'à Isigny.

Une partie de la rivière sort dans le port de Port-en-Bessin, et en dehors, le long du rivage, à une petite distance à sa droite. Le niveau de l'Aure, à son point de disparition, est de 12 à 15

mètres plus élevé que celui de la mer; aussi, pendant les crues, l'eau sort à Port-en-Bessin en jaillissant entre les galets.

Il est naturel de penser que des filtrations ont également lieu sous les falaises dont nous avons parlé, qu'elles humectent l'argile et déterminent une surface de glissement dans l'intérieur même de la couche.

D'un autre côté, la mer ronge les couches d'argile qui forment son fond, et diminue leur résistance horizontale jusqu'au moment où, n'étant plus capables de résister aux pressions qui augmentent avec la lubrifaction des surfaces, ces couches se plissent et produisent les relèvements que nous avons vus.

CATALOGUE

DES OUVRAGES COMPOSANT LA BIBLIOTHÈQUE

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS.

AGRICULTURE et GÉOLOGIE.

Affaissement du sol et envasement des fleuves survenus dans les temps historiques, par M. de Laveleye.
Agriculture allemande, ses écoles, son organisation, ses mœurs et ses pratiques les plus récentes, par M. Royer.
Agriculture française, départements de l'Isère, du Nord, des Hautes-Pyrénées, du Tarn, des Côtes-du-Nord, de la Haute-Garonne, de l'Aube; par les inspecteurs de l'agriculture.
Agriculture (Cours de M. Gasparin).
Bulletins de la Société impériale et centrale d'agriculture.
Drainage des terrains en culture, par M. Le Grand.
Etudes géologiques sur le département de la Nièvre, par M. Ebray.
Etude paléontologique sur le département de la Nièvre, par M. Ebray.
Guide du draineur, par M. Faure.
Géologie du Pérou, par M. Crosnier.
Géologie du Chili, par M. Crosnier.
Irrigations. Rapport de M. Le Chatelier sur un mémoire de MM. Thomas et Laurens.
Maison rustique, par MM. Ysabeau et Bixio.
Maladie de la vigne (Rapport sur la), par M. Marès.
Note sur le progrès agricole, par M. Ernest Pépin-Lehalleur.
Note sur les puits artésiens du Sahara oriental, par M. Ch. Laurent.
Programme pour le Cours de génie rural, par M. Faure.
Programme pour le Cour de génie rural, par M. Trélat.
Rapport sur les eaux de la ville de Liége, par M. G. Dumont, ingénieur des mines.
Recherches sur les eaux employées dans les irrigations, par MM. Salvetat et Chevandier.
Traité complet de l'élève du cheval en Bretagne, par M. Ephrem Houel.

CHEMINS DE FER.

Accidents, moyens pour les prévenir, notes sur le journal *Le Brevet d'invention*, par M. Jules Gaudry.
Accidents sur les chemins de fer, par M. Emile With.
Accidents sur les chemins de fer, par M. Pacquerie.
Album des chemins de fer, par M. Cornet.
Améliorations à introduire dans l'exploitation des chemins de fer, par M. Bordon.
Annuaire des chemins de fer, par M. Petit de Coupray.
Appareils électriques destinés à assurer la sécurité sur les chemins de fer, par M. Marquefoy.
Appareil dit *avertisseur*, ou signal d'arrêt des trains, par M. Grivel.
Assainissement et consolidation des talus, par M. Bruère.
Cahier des charges de la Compagnie du chemin de fer du Midi, remis par MM. Bellier et Bommard.
Changement et croisement de voie, par M. Thouvenot.
Chemins de fer d'Angleterre en 1851. Matériel fixe, matériel roulant, exploitation et administration, législation et statistique, par M. Le Chatelier.
Chemin de fer hydraulique. Distribution d'eau et irrigations, par M. L.-D. Girard.
Chemin de fer de Constantinople à Bassora, par MM. Emile et Alexis Barrault.
Chemin de fer occidental de Mons, Jemmapes et Saint-Ghislain, à Nieuport, par MM. Guibal et Baulleux.
Chemins de fer français, par M. Victor Bois.
Chemins de fer suisses (Rapport sur les).
Chemin de fer de Marseille au Rhône et à Avignon (Rapport de l'Assemblée générale du).
Chemin entre Vitry et Gray, par M. Brière de Mondétour.
Chemin de Metz à Sarrebruck (Projet), par MM. Flachat et Petiet.
Chemin de fer de Paris à Meaux, par MM. Mony, Flachat, Petiet et Tourneux.
Chemin de fer Victor-Emmanuel (Cahier des charges), par M. Capuccio.
Clepsydre à signaux (Note sur une), par M. Delacroix.
Combustibles employés pour le service des chemins de fer, par M. de Fontenay.
Comptabilité du matériel des chemins de fer, par M. Hubert.
Comptes-rendus des opérations du chemin de fer de l'Etat Belge.
Considérations sur les serre-rails et table-rails, par M. Barberot.
Consultations sur des questions de droit présentées par les compagnies de chemins de fer.
Croisements des voies, par M. Le Cler.

Résistance des convois à l'action des moteurs, par M. Jousselin.
Solution de la question des chemins de fer, par M. Poujard'hieu.
Télégraphie électrique, par M. Victor Bois.
Tracé des chemins de fer (Rapport fait à la Commission).
Traité élémentaire des chemins de fer, par M. Perdonnet.
Voies ferrées économiques (Mémoire à l'appui de l'établissement des), par M. G. Love.

CHIMIE et PHYSIQUE.

Appareils de chauffage, par M. J.-B. Martin.
Appareils fumivore, par M. Marion Fauvel et C^{e}.
Céramique (Leçons de), par M. Salvetat.
Chauffage et ventilation de la nouvelle Force, à Paris, par M. Ph. Grouvelle.
Chimie industrielle (Précis de) (texte et planches ensemble), par M. Payen.
Coloration et conservation des bois. Réponse au Rapport des experts, par M. Gardissal.
Combustion de la fumée et des gaz combustibles, par M. Petitpierre Pellion.
Conservation, incorruptibilité et incombustibilité des bois (Notice), par MM. J.-B. Perin et Meyer d'Uslar.
Conservavion des bois, par M. Jousselin.
Conservation des bois, procédés de MM. Legé et Fleury-Perronnet.
Emploi du sucre pour préserver les chaudières à vapeur des incrustations salines, par M. Guinon.
Explosion des machines à vapeur, par M. Andraud.
Emaux colorés sur couches minces appliqués à la peinture ordinaire des panneaux de voitures de chemins de fer, par MM. Mercier et de Fontenay.
De l'éclairage par le gaz hydrogène carboné, par M. Gaudry père.
Etudes sur les corps à l'état sphéroïdal, par M. Boutigny, d'Evreux.
Fourneaux fumivores. Historique et état actuel de la question, par M. Wolski.
Fabrication du gaz à la houille et du gaz à l'eau, par M. Faure.
Four à coke à compartiments fermés, par M. Tériot.
Histoire et fabrication de la porcelaine chinoise, par M. Salvetat.
Mémoire sur la gélatine, par M. de Puymaurin.
Rapport sur les fabriques de produits chimiques en Belgique, remis par M. Mesdach.
Recherches sur la composition des matières employées dans la fabrication et la décoration de la porcelaine en Chine, par MM. Salvetat et Ebelmen.
Rapport sur les arts céramiques fait à la Commission française du jury international de l'Exposition de Londres, par MM. Ebelmen et Salvetat.

Silicatisation ou application des silicates alcalins solubles au durcissement des pierres poreuses, par M. Kuhlmann.
Traité élémentaire du calorique latent, par M. Jullien.

CONSTRUCTION et TRAVAUX PUBLICS.

Navigation, Voirie, etc.

Alimentation des eaux de Paris, par M. Edmond Roy.
Application de la tôle à la construction des ponts du chemin de fer de ceinture, par M. Brame.
Arches de ponts envisagées au point de vue de la plus grande stabilité, par M. Yvon Villarceau.
Assainissement de Paris, par M. Beaudemoulin.
Bétons moulés et comprimés, par M. François Coignet.
Chemins de halage et berges des canaux d'Angleterre et d'Ecosse par M. E. Vuigner.
Construction des tunnels de Saint-Cloud et de Montretout (Notice), par M. Tony Fontenay.
Construction des viaducs, ponts-aquéducs, ponts et ponceaux en maçonnerie, par M. Tony Fontenay.
Chemins vicinaux, par E. Volland.
Canal du Berri (Rapport sur le), par M. Petiet.
Canal de Suez. Question du tracé, par MM. Alexis et Emile Berrault.
Canalisation des fleuves et rivières, par M. Henri Filleau de Saint-Hilaire.
Chute des ponts (De la), par M. Minard.
Construction du Palais de l'Industrie, par MM. A. Barrault et Bridel.
Construction de la toiture d'un atelier, par M. Prisse.
Constructions économiques et hygiéniques, par M. Lagout.
Construction des ponts et viaducs en maçonnerie, par M. Edmond Roy.
Construction des formules de transport pour l'exécution des terrassements, M. Dinan.
Docks à Marseille (Projet), par M. Flachat.
Digues monolithes en béton aggloméré, par M. Coignet.
Eaux de Seine de Saint-Cloud amenées directement au château, par M. Armengaud aîné.
Egouts. Construction sous le rapport de la salubrité publique, par M. Versluys.
Embellissement de la ville de Bordeaux, par M. Léon Malo.
Emploi de la tôle, du fer forgé et de la fonte dans les ponts, par M. Cadiat.
Etudes sur les isthmes de Suez et de Panama, par M. F.-N. Mellet.
Habitations ouvrières et agricoles, par M. Emile Muller.
Innondations souterraines, par M. Vuigner.

L'Opéra et le Théâtre de la Seine, par M. Barthélemy.
Mémoire de la Chambre de commerce de Lorient, par M. Jullien.
Mémoire sur la force des matériaux, par M. Hodgkinson.
Matériaux de construction de l'Exposition universelle, par M. Delesse.
Nivellements (Notice sur les), par M. Bourdaloue.
Nivellement (Notice sur le), par M. Petiet.
Notice sur la brouette, par M. Andraud.
Notice sur les eaux de Paris, par M. Ch. Laurent.
Notice sur les travaux et les dépenses du chemin de fer de l'Ouest exécutés par l'Etat, par M. A. Martin.
Passerelles sur les grandes voies publiques de la ville de Paris, par M. Herard.
Pavage et macadamisage (Rapport sur le), par M. Darcy.
Percement de l'isthme de Suez, par M. Ferdinand de Lesseps.
Percement de l'isthme de Panama par le canal de Nicaragua (Exposé de la question par MM. Félix Belly et Thomé de Gamond).
Percement de l'isthme de Suez, par M. Frédéric Coninck.
Ponts avec poutres tubulaires en tôle (Notice sur les), par M. L. Yvert.
Ponts suspendus, ponts en pierre, en bois, en métal, etc., par M. Boudsot.
Ponts biais en fonte de Villeneuve-Saint-Georges, par M. Jules Poirée.
Ponts métalliques (Traité théorique et pratique de la construction des), par MM. Molinos et Pronnier.
Ponts suspendus avec câbles en rubans de fer laminé, par MM. Flachat et Petiet.
Rapport sur les portes en fonte de fer établies au canal Saint-Denis, par M. Vuigner.
Rapport sur les ponts suspendus et sur la force et la meilleure forme des poutres de fer fondu, par M. Hodgkinson.
Rapport sur le pont de Cubzac, par M. Gayrard.
Rapport sur l'emploi, à la mer et sur terre, des bétons agglomérés à base de chaux, par M. Coignet.
Recueil de machines à draguer et appareils élévatoires, par M. Castor.
Tables de coefficients, par M. Lefrançois.
Théorie pratique et architecture de ponts, par M. Brunell.
Travaux hydraulique de la France et de l'étranger, par M. Boocchieri.
Tunnel sous-marin entre l'Angleterre et la France (avant-projet d'un), par M. Thomé de Gamond.

DIVERS.

Ouvrages dépareillés, etc.

Annuaire du consommateur d'acier, par M. Duhamel.
Appareils photographiques, par M. Charles Brooke.
Aide-mémoire des ingénieurs, par M. Richard.

Bibliothèque scientifique industrielle (De la nécessité de créer une), par M. Mathias.
Construction et emploi du microscope, par M. Charles Chevalier.
Cosmographie (Précis élémentaire), par M. Vallier.
Des voies navigables en Belgique, par M. l'inspecteur Vifquain.
Dictionnaire technologique français, anglais et allemand, par M. Gardissal.
Docks à Bordeaux, par M. Maldant.
Du cheval en France, par M. Charles de Boigne.
Ecoles d'arts et métiers d'Angers (Notice), par M. Guettier.
Encyclopédie biographique sur M. Hodgkinson.
Etoiles doubles, par M. Yvon Villarceau.
Excursion en Angleterre et en Ecosse, par M. Burel.
Exposition universelle Une dernière annexe, par M. Andraud.
Formulaire de l'ingénieur, par M. Armengaud jeune.
Géométrie descriptive (Eléments), par M. Babinet.
Guide du photographe, par M. Charles Chevalier.
Guide-manuel de l'inventeur et du fabricant, par M. Armengaud jeune.
La Russie et ses chemins de fer, par M. Emile Barrault.
L'Ingénieur de poche, par MM. J. Armengaud et E. Barrault.
Lettre adressée à la Chambre de commerce, par M. Calla.
Manuel du conducteur et de l'agent voyer, par M. Vauthier.
Manuel aide-mémoire du constructeur de travaux publics et de machines, par M Emile With.
Marques de fabrique. Guide pratique du fabricant et du commerçant, par M. E. Barrault.
Matières textiles, par M. Alcan.
Méthodes photographiques, par M. Chevalier.
Note sur les fraudes dans la vente du sel, par M. Daguin.
Notice sur J. P. J. d'Arcet.
Notice sur Philippe de Girard, par M. Benjamin Rampal.
Notice sur Saint-Nazaire.
Nouvelles inventions aux Expositions universelles, par M. Jobard.
Projet d'un pont de refuge dans la Seine, par M. Burel.
Première année au collége, par M. Gardissal.
Projet d'une ligne télégraphique continentale entre la France et les Etats-Unis, par l'Europe et l'Asie, par M. P. Jousselin.
Rapports sur le rouissage du lin, sur le drainage, sur l'exploitation de la tourbe et sur la fabrication des engrais artificiels et commerciaux, par M. Payen.
Rapport de M. Alcan sur la peigneuse mécanique de M. Josué Helmann.
Rapport du Jury international de 1855.
Rapport sur l'Exposition universelle de 1855, relatif aux exposants de la Seine-Inférieure, par M. Burel.
Registre des chevaux pur sang.
Règle à calcul (Notice sur l'emploi de la), par M. Guiraudet.
Revue provinciale, remis par M. Gayrard.
Suppression du canal Saint-Martin et de l'établissement des entrepôts libres, par M. Marie.

Sahara oriental au point de vue de l'établissement des puits artésiens dans l'Oued-Souf, l'Oued-Rit et les Zibans, par M. Ch. Laurent.
Taux légal de l'intérêt, par M. Félix Tourneux.
Thèse pour la licence, par M. Deville.
Technologiste (Journal).
Vade-Mecum administratif de l'entrepreneur des ponts et chaussées, par M. Endres.

MINES et MÉTALLURGIE.

Alliages des métaux industriels (Recherches pratiques), par M. Guettier.
Bassin houiller de Graissessac, par M. Mercier de Buessard.
Carbures de fer. En général, les fers impurs sont des dissolutions; par M. C.-E. Jullien.
Canaux souterrains et houillères de Worsley, près Manchester (Mémoire sur les), par MM. H. Fournel et Dyèvre.
Coulée de moules en coquilles sur l'application de l'électricité aux métaux en fusion et sur le tassement des métaux, par M. Guettier.
Dimensions et poids des fers spéciaux du commerce, par M. Camille Tronquoy.
Exploitation des mines, de leur influence sur la colonisation de l'Algérie, par M. Alfred Pothier.
Fabrication et prix de revient des rails (Mémoire sur la), par M. Curtel.
Fonderie (De la) telle qu'elle existe aujourd'hui en France, par M. Guettier.
Fusées de sûreté (de MM. Chenu et Ce), par M. Le Chatelier.
Guide du sondeur, avec atlas, par M. Degousée.
Houilles sèches et maigres du bassin de la Sambre inférieure.
Mémoire sur les principales variétés de houilles consommées sur le marché de Paris et du nord de la France, par M. de Marsilly.
Minerais d'étain exploités à La Villède, par M. Guettier.
Mines de houilles de l'Angleterre (Rapport sur les), par M. Th. Guibal.
Mines de la Grand-Combe (Rapport sur les).
Recherches expérimentales sur la forme des piliers de fer fondu et autres matériaux, par M. Hodgkinson.
Recherches expérimentales sur la force et autres propriétés du fer fondu, par M. Hodgkinson.
Situation de l'industrie houillière, par M. A. Burat.
Sondage à la corde (Notice), par M. Le Chatelier.
Sondage à la corde (Notice), par M. Ch. Laurent.
Sondes d'exploration (Description et manœuvre des), par M. Ch. Laurent.
Traité de la fabrication de la fonte et du fer, par MM. Flachat, Petiet et Barrault.
Traitement des minerais de cuivre (Sur un nouveau procédé de), par M. Petitgand.

MÉCANIQUE.

Barrage hydropneumatique, par M. Girard.
Bâtiments à vapeur. Tenue du journal, par M. Petiet.
Contre-poids (Des) appliqués aux roues motrices des machines-locomotives, par MM. Couches et Resal.
Calculs sur la sortie de vapeur dans les machines-locomotives, par M. Jeanneney.
Calculs sur l'avance du tiroir, les tuyaux d'échappement, les conduits de vapeur et de fumée, dans les machines-locomotives, par MM. E. Flachat et Petiet.
Construction des boulons, harpons, écrous, clefs, rondelles, goupilles, clavettes, rivets et équerres ; suivi de la Construction de la Vis d'Archimède ; par M. Benoit Duportail.
Distribution d'eau de 300 pouces pour la ville de Toulouse (Projet), par M. J. Guibal.
Equilibre des voûtes. Examen historique et critique des principales théories, par M. Poncelet.
Expériences des pilliers en fonte, par M. Hodgkinson.
Engrenage à coin, par M. Minotto.
Etudes sur la résistance des poutres en fonte, par M. Guettier.
Force motrice produite par la dilatation de l'air et des gaz permanents, par M. Montravel.
Graissage à l'huile appliqué aux véhicules des chemins de fer, par M. Dormoy.
Guide du chauffeur et du propriétaire de machines à vapeur, par MM. Grouvelle et Jaunez.
Machines à vapeur fixes ou locomoiles (Recueil des) de M. Cumming.
Machines à vapeur (Traité des), par M. Jullien.
Machines à disques, par M. Rennie.
Machines à vapeur (Traité élémentaire et pratique), par M. Jules Gaudry.
Machine avec générateur à combustion comprimée (de M. Pascal) (Rapport sur la), par M. Colladon.
Machine à vapeur rotative du système Chevret et Seyvon.
Manége Pinet (Rapport sur le), par M. Pinet.
Mécanique pratique. Leçon, par M. A. Morion.
Moteur des convois de chemin de fer dans les grands tunnels (Notice sur le), par N. Nickles.
Navigation fluviale par la vapeur, par MM. Ferdinand Mathias et Callon.
Notice sur un navire à hélice (*Le Chaptal*, construit par M. Cavé), par M. Jules Gaudry.
Notice historique sur l'emploi de l'air comprimé, par M. Gaugain.
Notice sur l'injecteur automoteur de M. Giffard, par M. Bougère.
Nouveau système de générateur, par M. Georges Scott's.
Prescriptions administratives réglant l'emploi des métaux dans les appareils et constructions intéressant la sécurité publique, par M. Love.

Propulsion atmosphérique, par M. Petiet.
Rapport des experts dans l'affaire Guebbard et Schneider, par MM. Faure, Boutmy et Flachat.
Rapport sur la peigneuse mécanique de M. Josué Heilman, par M. Alcan.
Rapport sur le moteur-pompe de M. Girard, par M. Callon.
Rapport sur les machines et outils employés dans les manufactures (Exposition universelle de Londres 1851), par M. le général Poncelet.
Rapport de la Commission chargée d'examiner les divers projets présentés à la Société des charbonnages de Saint-Vaast pour le percement des sables mouvants de son puits de Bonne-Espérance, de M. Th. Guibal.
Résistance de la fonte de fer par la compression, par M. Damourette.
Résistance de la fonte, du fer et de l'acier, et de l'emploi de ces métaux dans les constructions, par M. Love.
Ressort en acier (Manuel pratique pour l'étude et le calcul des), par M. Phillips.
Rossorts en acier (Mémoire sur les), par M. Phillips.
Scie à recéper sous l'eau (Notice sur la construction d'une), par M. Ganneron.
Théorie de la coulisse, par M. Phillips.
Théorie de la résistance et de la flexion plane des solides, par M. Bélanger.
Tachomètre (Notice sur un), par M. Daniel.
Traité théorique et pratique des moteurs hydrauliques, par M. Armengaud aîné.
Turbines hydropneumatiques, par MM. Girard et Callon.
Transmission à grandes vitesses. Paliers graisseurs de M. de Coster, par M. Benoit Duportail.
Théorie analytique du gyroscope de M. L. Foucault, par M. Yvon Villarceau.

OUVRAGES PÉRIODIQUES.

Album pratique d'ornements, par M. Oppermann.
Annales des ponts et chaussées.
Annales des mines.
Annales de la construction, par M. Oppermann.
Annales télégraphiques.
Annales des conducteurs des ponts et chaussées.
Annales forestières.
Annuaires de la Société des anciens élèves des Ecoles impériales d'arts et métiers.
Bulletins de la Société d'encouragement.
Bulletins de la Société des ingénieurs civils de Londres, années 1837 à 1851.
Bulletins de l'institution *of Mechanical Engineers*.

Bulletins de la Société industrielle de Moulhouse.
Bulletin de la classe d'industrie et de commerce de la Société des arts de Genève.
Bulletins de la Société impériale et centrale d'agriculture.
Bulletins de la Société vaudoise.
Bulletins des ingénieurs suédois.
Bulletins de la Société minérale de Saint-Etienne.
Bulletin des séances de la Société impériale et centrale d'agriculture.
Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences.
Compte rendu des séances du cercle de la Presse scientifique.
Journal des ingénieurs et architectes anglais.
Journal des ingénieurs autrichiens.
Journal L'Ingénieur.
Journal des mines.
Journal L'Invention, par MM. Gardissal et Desnos.
Mémoires de la Société d'agriculture de l'Aube.
Moniteur des intérêts matériels.
Moniteur des travaux publics.
Portefeuille John Cockerill.
Portefeuille économique des Machines, par M. Oppermann.
Portefeuille de l'ingénieur des chemins de fer, par MM. Perdonnet et Polonceau.
Revue d'architecture, par M. César Daly.
Revue industrielle des mines et de la métallurgie.
Revue municipale.
Revue périodique de la Société des ingénieurs autrichiens.
The Engineer (Journal).

STATISTIQUE et LÉGISLATION.

Administration de la France, ou Essai sur les abus de la centralisation, par M. Béchard.
Almanach et Annuaire des bâtiments (1842).
Brevets d'invention (Observations sur le nouveau projet de loi), par M. Normand.
Brevets d'invention, dessins et marques de fabrique (Etudes sur les lois actuelles), par M. Damourette.
Brevets d'invention en France et à l'étranger (Note sur les), par M. Emile Barrault.
Brevets d'invention et les marques de fabrique (Précis de législations françaises et étrangères sur les), par MM. Gardissal et Desnos.
Bulletin n° 3 (septembre 1852), statistique des chemins de fer.
Colonies agricoles (Etudes sur les). Mendiants, jeunes détenus, orphelins et enfants trouvés (Hollande, Suisse, Belgique et France), par MM. de Lurieu et Romand.

Comptes rendus des opérations des chemins de fer de l'Etat belge pendant les années 1840, 1842 et 1844 à 1858.
Consultation sur le projet de la loi de police de roulage.
Crédit foncier et agricole dans les divers états de l'Europe, par M. Josseau.
Crédit foncier en Allemagne et en Belgique, par M. Royer.
Communications postales entre la France et l'Angleterre.
Caisse de retraite et de secours pour les ouvriers (chemins de fer belges).
Compte rendu des travaux du Comité de l'Union des constructeurs.
Documents sur le commerce extérieur (douanes) (incomplets).
Documents statistiques sur les chemins de fer, par M. le comte Dubois.
Douanes. Tableau Général des mouvements du cabotage en 1847, et du commerce de la France avec ses colonies et les puissances étrangères.
Essai sur la réforme de l'éducation et de l'instruction publique, par M. Cardissal.
Exposition de Londres de 1851. Compte rendu, par M. E. Lorentz.
Instructions pratiques à l'usage des ingénieurs, par M. Armengaud aîné.
Mesures anglaises en mesures françaises, par M. L. Tronquoy.
Organisation de l'industrie. Projet de Société des papeteries en France, par MM. Ch. Callon et Laurens.
Organisation de l'Ecole polytechnique et pour les ponts et chaussées, par M. Vallée.
Organisation de la propriété intellectuelle, par M. Jobard.
Observations sur l'organisation de l'administration des travaux publics, par la Société des ingénieurs civils.
Observations sur le recrutement du corps des ponts et chaussées, par la Société des ingénieurs civils.
Procès-verbaux des conseils généraux de l'agriculture et du commerce.
Projet de loi sur la police du roulage, par M. Bineau.
Projet de loi sur les brevets.
Patent Office (Rapport 1854).
Rapport du jury central sur les produits de l'industrie française.
Rapport sur les patentes des Etats-Unis, par le major Poussin.
Rapport sur la loi organique de l'enseignement.
Statistique de la France, par M. le ministre du commerce.
Statistique des chemins de fer de l'Allemagne, par M. Hauchecorne.
Tarif du canal du Rhône au Rhin, par M. Petiet.
Transports et correspondances entre la France et l'Angleterre, par M. Petiet.

TABLE DES MATIÈRES

NOTE BIBLIOGRAPHIQUE

EXTRAITE DU

JOURNAL DE LA LIBRAIRIE

(2e SÉMESTRE 1859)

AGRICULTURE, DRAINAGE ET GÉOLOGIE.

5896 — Traité des constructions rurales et de leur disposition, ou des maisons d'habitation à l'usage des cultivateurs ; des logements pour les animaux domestiques, écuries, étables, bergeries porcheries, chenils, poulaillers, etc., etc.; des abris pour les instruments, les récoltes et les produits agricoles, hangars, remises, fenils, granges, laiteries, celliers, etc., etc.; et de l'ensemble des bâtiments nécessaires à une exploitation rurale suivant son importance; par Louis Bouchard, membre de plusieurs sociétés savantes. Grand in-8°, avec figures intercalées dans le texte, 12 francs.

7769 — La fertilité du sol résultant de l'emploi des amendements calcaires, et principalement de la chaux vive; par M. Ed. Vianne, ingénieur agricole, etc., etc.; in-18; 54 pages; 25 centimes.

CHEMINS DE FER.

7245 — Notions générales sur les chemins de fer, statistique, historique, exploitation, accidents, organisation des compagnies, administration, tarifs, service médical, institution de prévoyance, construction de la voie, voitures, machines fixes, locomotives, nouveaux systèmes, suivie des biographies de Cugnot, Seguin et Georges Stephenson, d'un mémoire sur les avantages respectifs des différentes voies de communication, d'un mémoire sur les chemins de fer considérés comme moyen de défense du pays, et d'une bibliographie raisonnée ; par A. Perdonnet, ancien élève de l'Ecole polytechnique, ancien ingénieur en chef de plusieurs chemins de fer, professeur de l'École centrale des arts et manufactures, etc., etc., in-18 jésus, 452 pages.

7529 — Solution de la question des chemins de fer, de l'extension des réseaux et des nouvelles conventions, par M. G. Poujard'hieu; in-8°, 75 pages, 2 francs.

8062 — Description de l'appareil de sécurité pour éviter les accidents sur les chemins de fer; par M. Leroy; in-4. 15 pages, une planche.

CHIMIE ET PHYSIQUE.

7369 — Traité complet de chimie analytique ; par Henri Rose; in-8°, 481 pages, 12 francs.

7569 — Extrait du rapport sur les distilleries de betteraves pour la campagne de 1855-1856, par M. Baudement, présenté à la Société impériale et centrale d'agriculture; in-8°, 55 pages.

7609 — Conservation des bois au sulfate de cuivre par le procédé à Legé et Fleury Pironnet. Description d'un appareil locomobile d'injection de 12 mètres de longueur et 1 mètre 60 de diamètre; in-8°, 6 pages et une planche.

11096 — Note sur les moyens propres à utiliser et à désinfecter les vinasses provenant des distilleries de vin; par M. Henri Marès, ingénieur; in-8°, 16 pages.

CONSTRUCTION ET TRAVAUX PUBLICS.

6642 — Notice sur l'appareil à chapelet Peyrot, pour le montage des déblais dans les tranchées ou en tête des galeries souterraines, dans les puits, etc., etc., pour la descente des matériaux de construction dans lesdits travaux, et enfin pour le montage et la descente des matériaux dans l'érection des bâtiments et édifices quelconques; par M. Peyrot; in-8°, 13 pages et une planche.

8335 — Alimentation des eaux de Paris; par M. Edmond Roy, ingénieur civil, 56 pages et une carte in-8°.

10039 — Du percement de l'isthme de Suez. Nouvelles considérations; par M. Frédéric de Coninck; 0, 50 c.

ENSEIGNEMENT.

6113 — Tables, pour le tracé des courbes sur le terrain, sinus et tangentes naturelles, de minute en minute. Tableau présentant le rapport des arcs au rayon pris pour unité; notions de trigonométrie rectiligne; exemples d'application par M. P. M. Chevallot, conducteur des ponts et chaussées; in-18, 132 pages et 3 planches.

6523 — Manuel des agents voyers, experts et industriels, en matière de subventions industrielles; par M. Cavrois, agent voyer en chef; in-8°, 128 pages.

7883 — Instructions pratiques sur les opérations de nivellement et sur le piquetage d'ordre des courbes circulaires de raccordement dans le tracé des lignes de chemins de fer, des routes et des canaux; par F. Julien, conducteur des ponts et chaussées; in-8, 72 p., une planche.

7892 — Tables de logarithmes à cinq décimales; par J. de Lalande, disposées à double entrée; revues et augmentées par J. Dupuis, professseur de mathématiques; 2e édition stéréotype, contenant les logarithmes des nombres de 1 à 10,000, les logarithmes des sinus et des tangentes des arcs, etc.; in 18, 219 pag., 1 fr. 50 c.

7893 — Leçons sur les coordonnés curvilignes et leurs diverses applications, par G. Lamé; in-8°, 368 pages, 5 francs.

11769 — Carnet des ingénieurs, recueil de tables de formules et de renseignements à l'usage des ingénieurs et des architectes, des chefs d'usines industrielles, et de tout directeur et conduc-

teur de travaux; 11e édition, entièrement refondu, et augmentée, par M Jules Gaudry, ingénieur civile in-12.

MÉCANIQUE.

7930 — De la conduite des machines locomotives; par Ch. Pélissier, sous chef de traction au chemin de fer de Saint-Pétersbourg à Varsovie; in-12, 172 pages, 3 francs.

8265 — Traité théorique et pratique de la construction des machines à vapeur fixes, locomotives et marines, à l'usage des ingénieurs, mécaniciens, constructeurs, etc., et des élèves des écoles spéciales, comprenant l'examen technique des matériaux de construction, la composition, l'exécution et les devis de ces moteurs pour les divers genres, espèces, systèmes et forces connus, par C. E. Jullien, ingénieur; 2e édition, revue, corrigée et augmentée; in-8°, 583 pages, avec un atlas in-4° de 4 pages et 48 planches gravées à l'échelle, et gravures sur bois intercalées dans le texte, 35 francs.

9575 — Traité pratique de la résistance des matériaux appliquée à la construction des ponts, des bâtiments, des machines; précédé de notions sommaires d'analyse et de mécanique, suivi de tables numériques donnant les moyens d'inertie de plus de 500 sections de poutres différentes; par Jules Bourdais, ingénieur; in-8°, 207 pages, 6 francs.

11036 — Théorie des voûtes élastiques et dilatables, d'une application spéciale aux arcs métalliques; par M. Fabré, in-8°, 61 pages et une planche.

11552 — Guide des filateurs de laine. Description des machines employées en Angleterre pour la filature des laines, comprenant le triage, le peignage, le cardage, l'étirage, la filature et la teinture. Traduit de l'anglais; par S. Ferguson fils, in-8°, 32 pages.

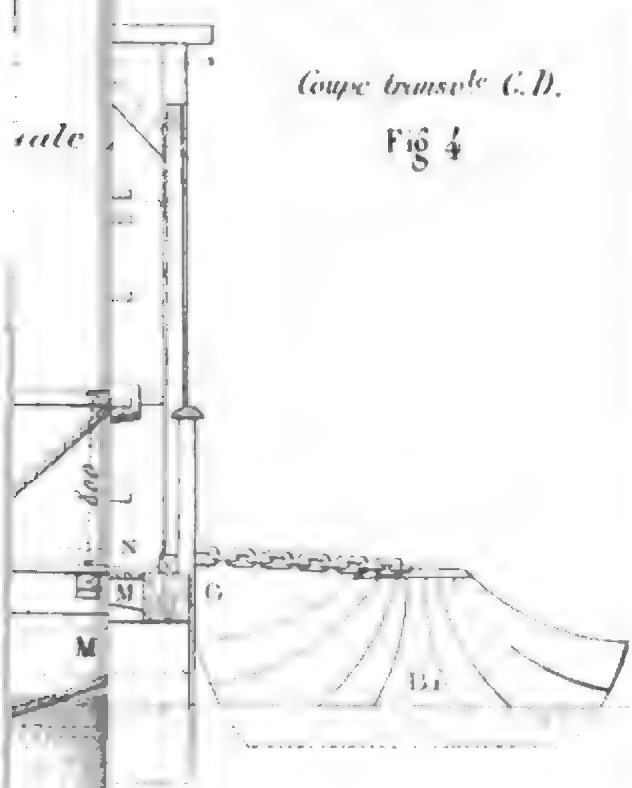
NAVIGATION.

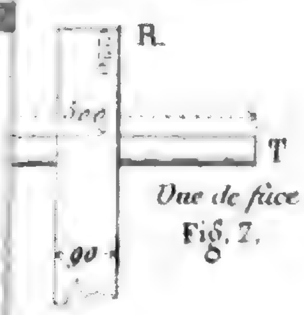
5950 — La navigation atmosphérique; par M. Farcot E., ingénieur mécanicien, in-18; 105 pages et une planche, 1 franc.

STATISTIQUE ET LÉGISLATION.

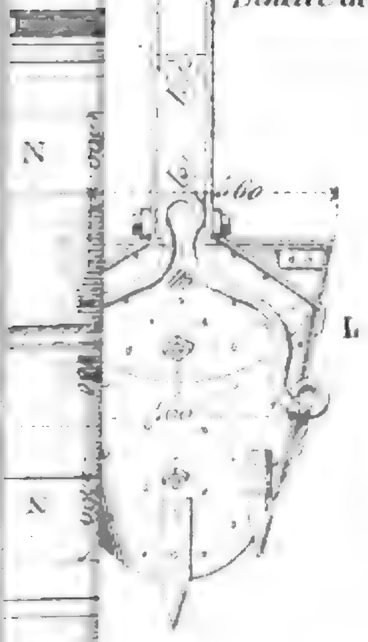
6712 — Instruction pratique à l'usage des inventeurs. Formalités à accomplir en tous pays pour obtenir la concession de patentes ou brevets d'invention; par MM. Armengaud aîné et J. Mathieu, ingénieurs civils, in-8°, 136 pages, 2 francs.

Typ. Guiraudet et fils, place de la Mairie, 2, à Neuilly.



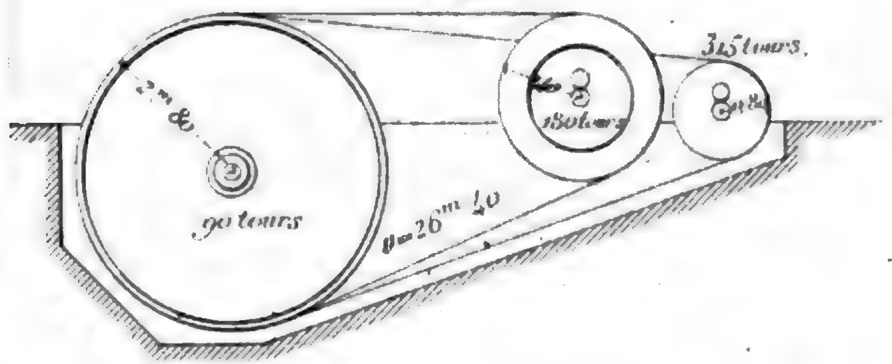


Echelle de 0m p^r 1m p^r les fig. 6



B

Fig. 6



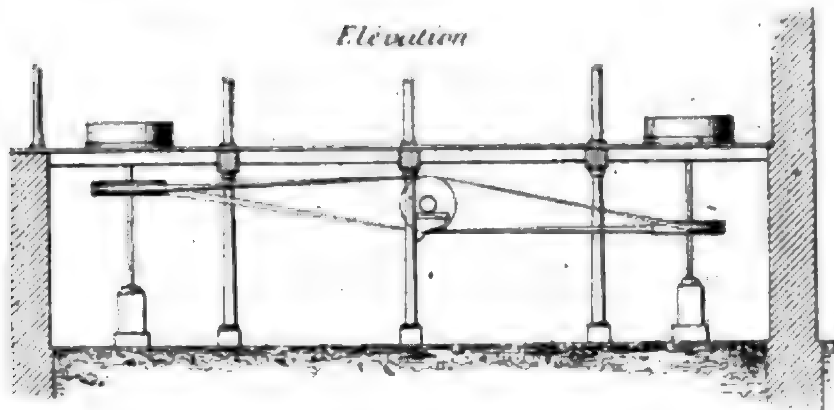
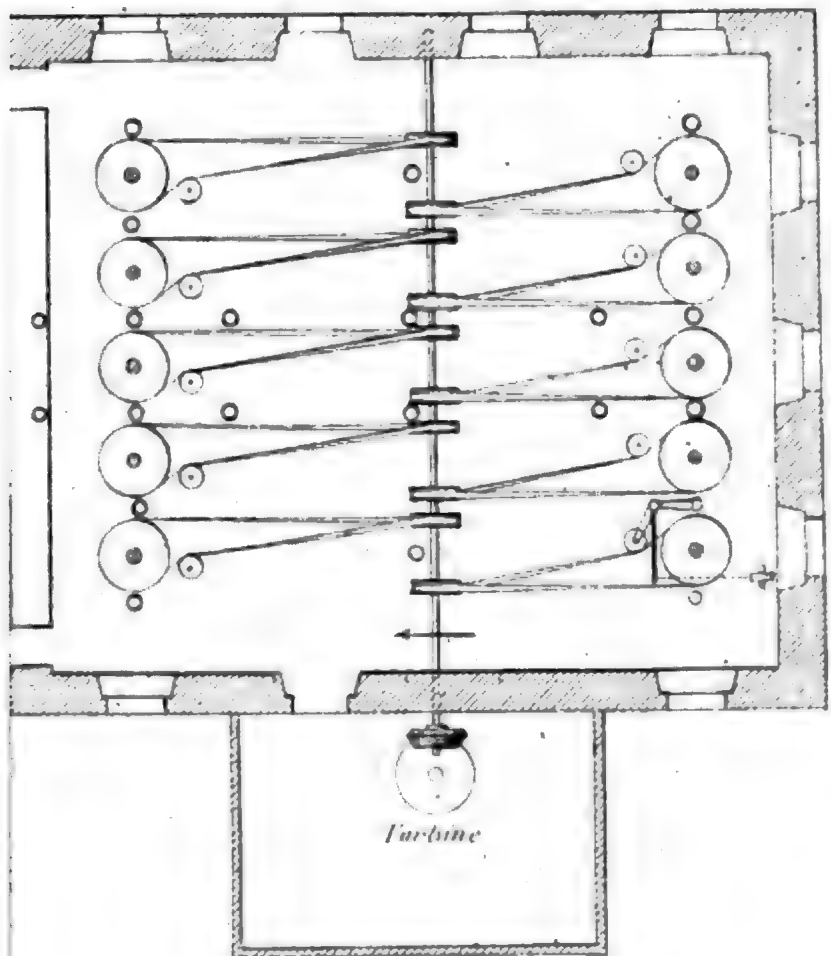


Fig. 7

Plan



Établ.t de E. Noblet, Éditeur

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

NOTA. La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Mémoires ou Notes publiés dans le Bulletin.

2012.— Typ. de GUIRAUDET, place de la Mairie, 2, à Neuilly.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

FONDÉE LE 4 MARS 1848

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET IMPÉRIAL
EN DATE DU 22 DÉCEMBRE 1860

ANNÉE 1860

Paris
RUE BUFFAUT, 26

MÉMOIRES

ET

COMPTE-RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(JANVIER, FÉVRIER ET MARS 1860)

N° 9

Pendant ce trimestre on a traité les questions suivantes :

1° *Installation des nouveaux membres du bureau et du comité.* (Voir le résumé de la séance du 6 janvier, p. 24.)

2° *Fondation du pont du Rhin à Kehl*, par M. Vuigner. (Voir le résumé de la séance du 6 janvier, p. 36.)

3° *Bétons agglomérés*, par M. Coignet. (Voir les résumés des séances des 20 janvier et 3 février, p. 38 et 42.)

4° *Machines électro-magnétiques appliquées à la production de la lumière électrique, et sur la fabrication industrielle des aimants*, par M. Limet. (Voir le résumé de la séance du 17 février, p. 46.)

5° *Moulage des coussinets de chemin de fer*, par M. Richoux. (Voir le résumé de la séance du 17 février, p. 50).

6° *Injecteur automoteur*, de M. Giffard. (Voir les résumés des séances des 17 février et 16 mars, p. 51 et 57).

7° *Distribution des eaux dans la ville de Paris*, par M. Laurent-Lambert. (Voir le résumé de la séance du 2 mars, p. 52).

8° *Filetage à chaud des vis à bois*, par M. Richoux. (Voir le résumé de la séance du 2 mars, p. .)

Pendant ce trimestre, la Société a reçu :

1° De M. Saint-James, membre de la Société, une note sur un nouveau *moteur hydraulique, système Roman ;*

2° De *l'Institution of Mechanicale engineers* le numéro de septembre 1859 de son Bulletin ;

3° Les numéros de juillet, août, septembre et octobre 1859 des *Annales des ponts et chaussées* ;

4° De M. Noblet, éditeur, les numéros d'octobre, novembre et décembre 1859, de la *Revue universelle des mines et de la métallurgie ;*

5° De M. Poujard'hieu, un exemplaire de sa brochure intitulée : *Deuxième étude sur la solution de la question des chemins de fer ;*

6° Les numéros de novembre et décembre 1859 des *Annales Télégraphiques* ;

7° De la *Société d'Encouragement*, les numéros de novembre et décembre 1859, et janvier 1860 de son bulletin;

8° De S. E. M. le Ministre des travaux publics de Belgique, le *Compte-rendu des opérations des chemins de fer de l'Etat pendant l'exercice* 1857 *et* 1858;

9° Les numéros de janvier, février et mars 1860 du journal *The Engineer ;*

10° Les numéros de décembre 1859 et janvier 1860 des *Annales des Conducteurs des ponts et chaussées ;*

11° Les numéros de décembre 1859 et janvier 1860 des *Annales Forestières et Métallurgiques ;*

12° De M. de Fontenay, membre de la Société, un exemplaire d'une note sur l'application de son *foyer fumivore* au générateur à bouilleurs de l'atelier d'ajustage du chemin de fer du Nord ;

13° De M. Emile Barrault, membre de la Société, un exemplaire d'un mémoire sur la *solution économique du problème de la manœuvre automatique des aiguilles et disques signaux sur les chemins de fer*, par M. V. Prou ;

14° De M. Oppermann les numéros de janvier, février et mars 1860, des *Nouvelles annales de la Construction* et du *Portefeuille économique des machines*, et les numéros de janvier, février, mars et avril 1860 de son *Album pratique de l'art industriel.*

15° Le numéro 150 du bulletin de la *Société industrielle de Mulhouse* ;

16° Le numéro de juillet, août et septembre 1859 du bulletin de la Société de l'*Industrie Minérale ;*

17° De M. Desnos, membre de la Société, les numéros de janvier, février et mars du journal *l'Invention* ;

18° De M. Brüll, une note en réponse à la note lue dans la séance du 2 décembre 1859 par M. Ermel, sur l'*Injecteur automoteur de M. Giffard ;*

19° Les numéros d'octobre, novembre et décembre 1859 de la *Revue des Ingénieurs autrichiens ;*

20° De la Société impériale et centrale d'agriculture, un exemplaire de son dernier bulletin ;

21° De M. de Laveleye, ingénieur, un exemplaire de son *Histoire financière des chemins de fer français ;*

22° De M. Armengaud jeune, membre de la Société, un mémoire sur le *générateur sphéroïdal* de M. Testu de Beauregard;

23° De M. Emile Trélat, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure intitulée le *Théâtre et l'architecte*;

24° De M. César Daly, les numéros 5 et 6 de la *Revue d'architecture ;*

25° De M. Carvallo, ingénieur des ponts et chaussées, une note sur l'*Injecteur automoteur de M. Giffard ;*

Les membres nouvellement admis sont les suivants :

Au mois de janvier,

MM. Doublet, présenté par MM. Nozo, Gouin et Benoit-Duportail.
Darru, présenté par MM. de Dion, Lasvignes et de Planhol.
Delaporte, présenté par MM. Love, Eugène Pereire et Chabrier.
Plazolles, présenté par MM. Faure, Thomé de Gamond et Barthélemy.

Au mois de février,

MM. Chancerel, présenté par MM. Faure, Guillaume et Lacombe.
Longraire, présenté par MM. Molinos, Yvon-Villarceau et Pronnier.
Rogé, présenté par MM. Michelant, Thétard et Faure.

Au mois de mars,

MM. Hallopeau, présenté par MM. Vuigner, Loustau et Germon.
Jarry, présenté par MM. Perdonnet, Jacquin et Lepeudry.
Jequier, présenté par Priestley, Mariotte et Bertholomey.
Rouart, présenté par MM. Desbrière, Mignon et Hervey-Picard.
Olivier de Gingins la Sarraz, présenté par MM. Faure, Peligot et Huber.

LISTE GÉNÉRALE DES SOCIÉTAIRES ANNÉE (1860)

Membres du Bureau.

President :

M. Vuigner (E.) O, ✻, faub. Saint-Denis, 146.

Vice-Présidents :

MM. Flachat (E.) O. ✻ ✻, rue de Londres, 51.
Forquenot, boulevard de l'Hôpital, 7.
Petiet (J.) O. ✻, ✻ ● ✻, rue Lafayette, 34.
Laurens ✻, rue des Beaux-Arts, 2.

Secrétaires :

MM. Peligot (Henri), rue Bleue, 5.
Guillaume, rue de Lancry, 55.
Yvert (Léon), rue Tronchet, 29.
Tronquoy (Camille), rue Mazagran, 20.

Trésorier :

M. Loustau (G.) ✻, rue de Saint-Quentin, 23.

Membres du Comité.

MM. Degousée ✻, rue Chabrol, 35.
Faure (A.) ✻, rue Paradis-Poissonnière, 19.
Alcan (Michel) ✻, rue d'Aumale, 21.
Callon (Ch.) ✻, rue Royale-Saint-Antoine, 16.
Salvetat ✻, à Sèvres (Manufacture impériale).
Thomas (Léonce) ✻, rue des Beaux-Arts, 2.

Arson, rue de Bourgogne, 40.
Chobrzynski ✻, boulevard du Nord, 49.
Laurent (Charles), rue Chabrol, 35.
Bergeron, rue de Lille, 79.
Alquié, rue d'Enghien, 15.
Mathias (F.) ✻ ✻ ✻ ✻, r. de Saint-Quentin, 23.
Yvon-Villarceau ✻ ✻, à l'Observatoire.
Barrault (Alexis) ✻, rue Moncey, 9.
Mathieu (Henri), rue de Lille, 93.
Trélat (E.) ✻, rue de la Tour-d'Auvergne, 37.
Nozo (Alfred) ✻ ✻, boulevard du Nord, 51.
Houel ✻, quai de Billy, 48.
Molinos (Léon), rue Chaptal, 22.
Love, rue de Turin, 4.

Président honoraire :

M. A. Perdonnet, O ✻ ✻, à la gare du chemin de fer de Strasbourg.

Membres honoraires.

MM. Hodgkinson, Eaton, 44, Drayton grove, Brompton (Angleterre).
Morin (le général) G. O. ✻, rue Neuve-des-Mathurins, 38.
Poncelet (le général) G. O. ✻, rue de Vaugirard, 58

Sociétaires.

MM. Aboilard, à Corbeil (Seine-et-Oise).
Achard, rue du Cherche-Midi, 99.
Agudio, à Turin (Piémont).
Albaret, en Espagne.
Alby, à Turin (Piémont).

Alcan ✻, rue d'Aumale, 21.
Alleon, à Nivelles (Belgique).
Alquié, rue d'Enghien, 13.
Ancel, rue de l'Herberie, 2, à Lyon (Rhône).
Andraud, rue des Pyramides, 6.
Andry, à Boussu, près Mons (Belgique).
Appert, rue Royale, 6, à la Grande-Villette.
Armengaud aîné, rue Saint-Sébastien, 45.
Armengaud jeune, boulevard de Strasbourg, 23.
Arson, rue de Bourgogne, 40.
Artus, rue Notre-Dame-de-Nazareth, 59.
Balestrini, rue Notre-Dame-des-Champs, 82.
Barberot ✻ *, rue de la Santé, 75, à Batignolles.
Baret, chez M. Ducommun, à Mulhouse (Haut-Rhin).
Barrault (Alexis) ✻, rue Moncey, 9.
Barrault (Emile), boulevard Saint-Martin, 33.
Barroux, à Bar-sur-Seine (Aube).
Barthélemy, quai Voltaire, 5.
Baudoin, rue des Récollets, 3.
Baumal, rue de Bercy, 4.
Beaucerf, à Chambéry (Savoie).
Beaussobre (de), rue de Belzunce, 16.
Bellier, au chemin de fer du Midi, à Bordeaux (Gironde).
Benoit-Duportail, rue Trezel, 25, à Batignolles.
Benoist d'Azy (Paul), à Fourchambault (Nièvre).
Bergeron, rue de Lille, 79.
Bertholomey, rue Saint-Antoine, 153.
Berthot, rue des Bons-Enfants, 19.
Berton, ingénieur directeur de l'exploitation du chemin de fer de Florence aux Etats-Romains. Palazzo Pucci, via de Pucci, à Florence.
Bertot, rue Notre-Dame-de-Nazareth, 10.

Beugnot, maison Kœchlin, à Mulhouse (Haut-Rhin).
Bévan de Massi, à Madrid (Espagne).
Binder (Jules), rue d'Anjou-Saint-Honoré, 72.
Bippert, au chemin de fer de Lyon à la Méditerranée, à Arles (Bouches-du-Rhône).
Biver ☀, à Saint-Gobain, par Coucy-le Château (Aisne).
Blanche, à Puteaux (Seine).
Blard, aux ateliers du chemin de fer d'Orléans, à Ivry.
Blonay (de), directeur des ateliers de construction de la Reichshoffen, près Niederbronn (Bas-Rhin).
Blondeau, aux mines de Blanzy (Saône-et-Loire).
Blot (Léon), via del Seminario, 181, à Civita-Vecchia (Italie).
Blutel, à Nancy (Meurthe).
Bois (Victor), place du Hâvre, 14.
Boivin, rue de Flandre, 139, à la Villette.
Bonnet (Félix), rue de Sèvres, 8.
Bordet, à Remilly, par Sombernom (Côte-d'Or).
Borgella, rue Hauteville, 8.
Bossu, à Dieuze (Meurthe).
Boudard aîné, à Dangu, près et par Gisors (Eure).
Boudard jeune, à Pont-Rémy (Somme).
Boudsot, à Besançon (Doubs).
Bougère, à Angers (Maine-et-Loire).
Bouilhet, rue de Bondy, 36.
Bouillon, rue de Chabrol, 33.
Bourcard, à Guebwiller (Haut-Rhin).
Bourdon ☀, route de Toulon, 158, à Marseille.
Bourdon (Eugène) ☀, faubourg du Temple, 74.
Bourgougnon, cité Gaillard, 5.
Bournique, quai Jemmapes, 288.
Bourset, gare de Ségure, à Bordeaux (Gironde).

BOUSSON, chemin de fer Grand-Central, à Lyon (Rhône).
BOUTIGNY, d'Évreux ✻, ingénieur-chimiste, rue de Flandre, 52, à la Villette.
BOUTIN, rue des Arts, à Neuilly.
BOUTMY, à Arles (Bouches-du-Rhône).
BRANVILLE (De), rue Notre-Dame-des-Champs, 82.
BREGUET ✻, quai de l'Horloge, 39.
BRICOGNE ✻, rue du Faubourg-Poissonnière, 50.
BRIDEL, à Bienne (Suisse).
BROCCHI (Auguste), rue Racine, 30.
BROCCHI (Charles), rue de Clichy, 61.
BROZLER, à Carlsruhe (Bade).
BRUÈRE, à Belfort (Haut-Rhin).
BRÜLL, rue de Moscou, 3.
BUDDICOM, à Sotteville-lèz-Rouen (Seine-Inférieure).
BUREAU, rue Joubert, 9.
BUREL, rue d'Harcourt, 3, à Rouen (Seine-Inférieure).
BURT, rue Caumartin, 54.
BUSSCHOPP, rue des Marais-Saint-Martin, 20.
CAHEN, rue d'Abbeville, 3.
CAILLÉ, rue Saint-Lazare, 82.
CAILLET, à Lyon (Rhône).
CAILLOT-PINART, rue du Faubourg-Saint-Martin, 140.
CALLA ✻, rue Lafayette, 11.
CALLON ✻, rue Royale-Saint-Antoine, 16.
CAMBIER, place d'armes, à Luxembourg (Grand-Duché).
CAPDEVIELLE, chez MM. Maze et Voisine, à la Villette.
CAPUCCIO, à Turin (Piémont).
CARON, rue Taitbout, 67.
CASTEL (Emile) ✻, rue de la Charronerie, 1, à Saint-Denis.
CASTOR, à Mantes (Seine-et-Oise).
CAUVET, boulevard du Temple, 39.

Cavé (François) ✻, rue Lafayette, 22.
Cavé (Amable), avenue Montaigne, 51.
Cazes, au Lycée Saint-Louis, rue de la Harpe, 94.
Cernuschi, à Huelva (Andalousie).
Chabrier, rue Saint-Lazare, 99
Championniere, rue Ollivier, 4.
Chancerel, à Stenay (Meuse).
Charaudeau, boulevard Poissonnière, 20.
Charbonnier, rue de Lancry, 24.
Chapelle, rue du Chemin Vert, 5.
Chaper, rue Buffault, 11.
Charpentier, rue des Lions-Saint-Paul, 5.
Chauvel, à Navarre, par Évreux (Eure).
Chavès, inspecteur du service des eaux au chemin de fer du Nord, rue de Paradis-Poissonnière, 12.
Chéronnet, à Maisons-Laffitte (Seine-et-Oise).
Chevandier, rue de la Victoire, 22, hôtel de la Victoire.
Ckiandi, à Cambrai (Nord).
Chobrzynski ✻, boulevard du Nord, 49.
Chollet, à Belfort (Haut-Rhin).
Chuwab, à Terre-Noire, près Saint-Étienne (Loire).
Clément-Desormes, rue Bourbon, à Lyon.
Clervaux (de), directeur des usines de Torteron (Cher).
Coignet, quai Jemmapes, 228.
Colladon, à Genève (Suisse).
Coquerel, rue Moncey, 16.
Cordier, à Alexandrie (Égypte).
Cosyns, directeur des forges de Saarbruk (Prusse).
Cournerie, à Cherbourg (Manche).
Courras, avenue de Neuilly, 65.
Courtépée, rue des Francs-Bourgeois, 5.
Courtines (Jacques) ✻, à Louga (Russie).

CRESPIN, à Meulan (Seine-et-Oise).

CRÉTIN ✻, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 182.

CUINAT, rue du Plat d'Etain, 1, à Metz (Moselle).

CURTEL, à Montluçon (Allier).

DAGUIN (Ernest), rue Geoffroy-Marie, 3.

DALLOT, au chemin de fer, à Audenarde (Belgique).

DARBLAY, à Corbeil (Seine-et-Oise).

DARRU, à Suez.

DEBAUGE ✻, cité Gaillard, 1.

DEBIÉ, à la papeterie de la Croix-blanche, à Thiers (Puy-de-Dôme).

DEBONNEFOY, rue de Madame, 6.

DECAUX, boulevard Saint-Jacques, 84.

DE COENE, à Rouen (Seine-Inférieure).

DECOMBEROUSSE, rue des Martyrs, 47.

DE DION ✻, rue Godot-Mauroy, 14.

DEFFOSSE, au chemin de fer de Lyon à Genève, à Genève.

DEGOUSÉE ✻, rue Chabrol, 35.

DEGOUSÉE (Edmond), rue Chabrol, 35,

DEJOLY (Théodore), rue Martignac, 1.

DELANNEY, agent-voyer en chef au Mans (Sarthe).

DELAPORTE, rue de Crussol, 14.

DELATTRE, directeur de l'usine à gaz, à Meaux (Seine-et-Marne).

DELAVILLE-LEROUX, directeur des forges d'Imphy (Nièvre).

DELEBECQUE, rue de l'Arcade, 15.

DEMEULE, à Elbœuf (Seine-Inférieure).

DELIGNY, rue Notre-Dame-de-Lorette, 10.

DELON, rue Rochechouard, 20.

DELPECHE, rue Rambouillet, 2.

DENIEL ✻, ingénieur au chemin de fer de Montereau à Troyes, à Troyes (Aube).

Denise, à Saint-Pétersbourg.

Desbriere, rue des Martyrs, 47.

Desforges, au chemin de fer de Mulhouse (Haut-Rhin).

Desgranges, ingénieur en chef du chemin de fer du Sud, Wollzeil, 783, à Vienne.

Desmasures, O ✱ ✱, rue Taitbout, 67.

Desmousseaux de Givré, rue de Las-Cases, 10.

Desnos, boulevard Saint-Martin, 29.

Desnoyers, aux Forges du Phénix, Ruhrort (Prusse).

Despres, rue de Rivoli, 96.

Devaureix, rue de Jessaint, 8, à La Chapelle-Saint-Denis.

Devers, rue Neuve-des-Martyrs, 12.

D'Hamelincout, rue Neuve-Coquenard, 11, *bis*.

Diard, rue Saint-Gilles, 11.

Dinan, rue de Fontenay, 92, à Vincennes.

Dombrowski, à Bar-le-Duc (Meuse).

Donnay, chef du bureau des études au chemin de fer du Nord, passage Sandrié.

Doublet, rue du Rocher, 31.

Dubied, à Mulhouse (Haut-Rhin).

Dubois, rue Saint-Victor, 36.

Dufournel, à Gray (Haute-Saône).

Dugourd, à Alais (Gard).

Dulong ✱, rue du Regard, 5.

Duméry, boulevard de Strasbourg, 26.

Du Pan (Louis), à La Fère (Aisne).

Durenne, rue des Amandiers-Popincourt, 11.

Durocher, rue de la Verrerie, 83.

Duval (Edmond), aux forges de Paimpont, près Plélan (Ille-et-Vilaine).

Ébray, à Sancerre (Cher).

Edwards ✱, rue Saint-Honoré, 243.

EIFFEL, à Cenon la Bastide, par Bordeaux (Gironde).
ENGELMANN, ingénieur des ateliers de Saint-Martin, près Charleroi (Belgique).
ERMEL, rue Montholon, 28.
ESTOURLON, maître de forges à Bourges (Cher).
ETIENNE, à Séville (Espagne).
EVRARD, rue Saint-Samson, 28, à Douai (Nord).
FALIES, Chaussée du Mainé, 4.
FALLENSTEIN, à Duren, près Aix-la-Chapelle (Prusse).
FARCOT (J.-J.-Léon), au port Saint-Ouen (Banlieue).
FAUCONNIER, avenue Parmentier, 15.
FAURE (Auguste) ✻, rue Paradis-Poissonnière, 19.
FELLOT, rue de Turin, 4.
FEROT ✻, rue d'Amsterdam, 15.
FÈVRE, rue et cité Turgot, 5 et 7.
FÈVRE (Henri), rue de Penthièvre, 7.
FIEVET, à Poitiers (Vienne).
FLACHAT (Eugène) O ✻ *, rue de Londres, 51.
FLACHAT (Adolphe), rue Caumartin, 70.
FLACHAT (Jules), à Saint-Pétersbourg.
FLACHAT (Yvan), rue Lavoisier, 1.
FLAUD, rue Jean-Goujon, 27.
FONTENAY (De), rue du Cherche-Midi, 36.
FONTENAY (Toni), ingenieur en chef du chemin de fer de Saint-Rambert à Grenoble (Isère).
FONTENAY (De), à Baccarat (Meurthe).
FOREY, à Montluçon (Allier).
FORQUENOT, boulevard de l'Hôpital, 7.
FORTIN-HERMANN (Louis), boulevard Montparnasse, 71.
FORTIN-HERMANN (Émile), boulevard Montparnasse, 71.
FOURNIER, rue de la Ville-l'Evêque, 40.
FOURNIER (A.), à Orléans (Loiret).

Fredet, à la papeterie, à Essonne (Seine-et-Oise).
Fresnaye, à Marenlo, par Montreuil-sur-Mer (Pas-de-Calais).
Frichot, à Pont-Rémy (Somme).
Fromantin, rue Bonaparte, 24.
Fromont, ingénieur au chemin de fer de l'Est, Bar-le-Duc.
Froyer, à Rome (Italie).
Fuchet, rue de Varenne, 88.
Gallaud, rue Notre-Dame-de-Lorette, 46.
Ganneron, quai de Billy, 56.
Gardeur-Le-Brun ✻, rue de Chabrol, 49.
Garnier, rue Taitbout, 16.
Gaudet, à Rive-de-Gier (Loire).
Gaudry, (Jules), ingénieur au chemin de fer de l'Est, rue Saint-Georges, 5.
Gaveau, directeur d'une fabrique de pâte à papier, à Saint-Sauveur, faubourg d'Arras (Pas-de-Calais).
Gayrard (Gustave), rue du Dragon, 21.
Gentilhomme, quai de la Tournelle, 45.
Geoffroy, rue de la Nation, 14, à Montmartre.
Gerder, rue de la Chaussée-d'Antin, 49 bis.
Germain, à l'usine à zinc, à Clichy.
Germon, rue des Moulins, 15, à Belleville.
Geyler, rue Bleue, 35.
Gibon, à Montataire (Oise).
Giffard, rue Jean-Goujon, 27.
Gil Claudio, à Barcelonne (Espagne).
Gingins (de) de la Sarraz, rue Miroménil, 5.
Girard, rue d'Enghien, 44.
Gislain, rue Lepelletier, 35.
Goschler, ingénieur, directeur des chemins de fer Hainaut et Flandres, rue Montayer, 6, à Bruxelles (Belgique).
Gottschalk, à Saint-Pétersbourg.

Gouin (Ernest) ✱, rue de la Chaussée-d'Antin, 19 bis.

Gouvy (Alexandre), aux forges de Hombourg, près Saint-Avold (Moselle).

Grenier (Achille) ✱, ingénieur en chef au chemin de fer Guillaume de Luxembourg (Grand-Duché).

Guérard, au chemin de fer du Nord, à Amiens (Somme).

Guérin (de Litteau), à Bruxelles (Belgique).

Guérin, à Draguignan.

Guettier, aux fonderies de Marquise (Pas-de-Calais).

Guibal (Théophile), à l'École des mines, de Mons (Belgique).

Guibal (Jules), rue Pargaminières, 71, à Toulouse.

Guillaume (Charles), au chemin de fer du Midi, à Toulouse (Haute-Garonne).

Guillaume, rue de Lancry, 55.

Guillemin, à La Perraudette, près Lausanne (Suisse).

Guillemin, usine de Cosamène, à Besançon (Doubs).

Guillon, à Saint-Quentin (Aisne).

Guillot, ingénieur du matériel du chemin de fer Victor-Emmanuel, à Turin (Piémont).

Guiraudet ✱, imprimeur, place de la Mairie, 2, à Neuilly.

Hallopeau, rue Albouy, 2.

Hamoir, à Maubeuge (Nord).

Haussoullier, Grande Rue, 52, à Batignolles.

Hermary, à Lambres, par Aire-sur-la-Lys (Pas-de-Calais).

Hervey-Picard, rue des Dames, 41, aux Batignolles.

Hervier, rue du Château-d'Eau, 72.

Heurtebise, rue des Rosiers, 3.

Holcroft, à Tours (Indre-et-Loire).

Houel ✱, quai de Billy, 48.

Houlbrat, rue de la Rochefoucaud, 24

Hovine, rue de Lyon, 4.

Hubert, rue Blanche, 69.

HUBER (William), rue Miroménil, 2.
HUET, rue Bleue, 33.
HUMBLOT, rue des Clercs, à Metz (Moselle).
IMBS, à Brumath, près Strasbourg (Bas-Rhin).
JARRY, à Saint-Parres-les-Vandes (Aube).
JACQUIN, rue de l'Église, 20, à Batignolles.
JEANNENEY, à Mulhouse (Haut-Rhin).
JEQUIER, à Santiago (Chili).
JOUANNIN, rue d'Amsterdam, 27.
JOUSSELIN, rue de Bercy, 4.
JULLIEN, rue de l'Eperon, 10.
KARCHER, à Sarrebruck (Prusse-Rhénane).
KNAB, rue de Seine, 72.
KRÉGLINGER, à Malines (Belgique).
LABORIE (De) ✻, quai de Béthune, 18.
LABOUVERIE, rue Spintay, 59, à Verviers (Belgique).
LACOMBE ✻, Chaussée-d'Antin, 49 bis.
LAFON, à Cadix (Espagne).
LAINÉ, rue du faubourg du Temple, 59.
LALIGANT, à Maresquel, par Champagne-lèz-Hesdin (Pas-de Calais).
LALO, rue Saint-André-des-Arts, 45.
LAMBERT, à Vuillafons, par Ornans (Doubs).
LANGLOIS (Charles), rue Joubert, 10.
LARPENT, rue de Lonchamps, 39.
LAROCHETTE (De), à Bastia (Corse).
LA SALLE, rue Saint-Georges, 58.
LASSERON, à Alexandrie (Egypte).
LASVIGNE, à Bayeux (Calvados).
LAURENS ✻, rue des Beaux-Arts, 2.
LAURENT (Victor), à Plancher-les-Mines, près et par Champagney (Haute-Saône).

Laurent-Lambert, à Bordeaux.
Laurent (Charles), rue de Chabrol, 35.
Lavalley ❀, rue de Tivoli, 3.
Lavezzari, à Beaurain-Château, par Champagne-lèz-Hesdin (Pas-de-Calais).
Lebon (Eugène), boulevard de Strasbourg, 9.
Le Brun (Louis), rue de Valenciennes, 3.
Lecherf, rue des Dames, 1, à Montmartre.
Le Cler (Achille), rue de l'Abbaye, 12.
Lecoeuvre, rue Saint-Louis, 83.
Leconte ❀, rue de Bercy, 4, à Paris.
Lecorbellier, rue de Londres, 39.
Lefevre, rue des Dames, 28, aux Batignolles.
Lefrançois, rue Rocroy, 23.
Legavriand, à Lille (Nord).
Le Laurin, rue de l'Ouest, 40.
Lemoinne ❀, rue Notre-Dame, 18, à Passy.
Lemonnier, aux forges de Terre-Noire (Loire).
Lemonon, à Arc-en-Barrois (Haute-Marne).
Lepeudry, rue Montholon, 28.
Le Roy, à la gare de Strasbourg, à Strasbourg.
Levat ❀, à Arles (Rhône).
Limet, rue du Faubourg-Poissonnière, 32.
Loisel, à Melun (Seine-et-Marne).
Longraire, à Bologne (Italie).
Lopez Bustamante, à Santander (Espagne).
Loustau (Gustave) ❀, rue de Saint-Quentin, 23.
Love, rue de Turin, 4.
Loyd, chez M. Gouin, à Batignolles.
Machecourt, à Montricq, par Commentry (Allier).
Maire, rue Blanche, 40.
Mallac, rue de la Bruyère, 21.

Maldant, rue Lormont, 7, à Bordeaux (Gironde).
Mallet, rue Fontaine-Saint-Georges, 7.
Malo, aux mines de Seyssel, à Pyrimont-Seyssel (Ain).
Manby (Charles), à Londres.
Mangeon, à Melun (Seine-et-Marne).
Maréchal, ingénieur du matériel, à Strasbourg (Bas-Rhin).
Marès (Henri), rue Sainte-Foy, à Montpellier (Hérault).
Marié, rue de Bercy, 4.
Marindaz, rue Caumartin, 20.
Marion, rue Marcadet, 6, à La Chapelle.
Mariotte, rue de Rivoli, 8.
Marle, aux houillères d'Epinac (Saône-et-Loire).
Marrillon, chef d'arrondissement, à Belfort (Haut-Rhin).
Marsillon (Léon), avenue des Champs-Élysées, 78.
Martenot ✱, à Ancy-le-Franc (Yonne).
Martin, rue d'Amsterdam, 51.
Martin (Léon), à Commentry (Allier).
Martin ✱, rue de Strasbourg, 8.
Martin (Charles-William), quai d'Orsay, 17.
Massé, place Royale, 6, à Reims (Marne).
Masselin, à la verrerie de M. Chance, à Birmingham.
Mastaing (de), boulevard Beaumarchais, 95.
Mathias (Félix) ✱ ✱✝✱, rue de Saint-Quentin, 25.
Mathias (Ferdinand) ✱, à Lille (Nord).
Mathieu (Henri), rue de Lille, 93.
Mathieu (Ferdinand) ✱, au Creuzot.
Maure, rue Mogador, 7.
Mayer ✱, rue Pigale, 26.
Mazeline, constructeur, au Hâvre (Seine-Inférieure).
Mazilier, rue Mazagran, 4.
Mégret, boulevard de Strasbourg, 89.
Mélin, rue Neuve-Coquenard, 11.

Maurx, rue de Metz, 14.
Mercier, rue Saint-Louis, 63.
Mesdach, rue Saint-Paul, 28.
Mesmer ✻, rue du Petit-Carreau, 24.
Meyer, rue de Clichy, 88.
Michel, à Troyes (Aube).
Michelant, au chemin de fer d'Orléans (au dépôt, à Ivry).
Michelet, Chaussée-d'Antin, 27.
Mignon, rue Ménilmontant, 151.
Minary, usine de Casamène, à Besançon (Doubs).
Miranda (de) ✻, à Madrid (Espagne).
Mirecki, à Amiens (Somme).
Mitchell, boulevard de la Râpée, 4, à Bercy.
Moléon, rue de la Paix, 16.
Molinos, rue Chaptal, 22.
Montcarville, au chemin de fer de Tours, à Tours.
Mony (Stéphane) ✻, boulevard des Italiens, 26.
Moreau (Albert), rue Neuve-de-l'Université, 9.
Morice, à Hazebrouck (Nord).
Mouillard, à Séville (Espagne).
Muller (Adrien), rue d'Amsterdam, 18.
Muller (Alfred), rue Demours, 25, aux Ternes.
Muller (Emile), rue de Chabrol, 33.
Nancy, à Strasbourg (Bas-Rhin).
Nepveu, rue Taitbout, 81.
Nillis (Auguste), à Chaumont (Haute-Marne).
Nodler, rue Hauteville, 32.
Nozo ✻ *, boulevard du Nord, 51.
Ottavi, avenue de Saint-Cloud, 31, à Passy.
Oudot, à Audenarde (Belgique).
Palotte fils, rue du Conservatoire, 11.
Paquin, au chemin de fer, à Mulhouse (Haut-Rhin).

Paul, rue Ménilmontant, 12.

Pecquet, aux États-Unis.

Peligot (Henri), rue Bleue, 5.

Pellier, avenue du Bel Air, 34, à Saint-Mandé.

Pépin-Lehalleur ✻ *, au château de Coutançon, par Montigny-Liancourt (Seine-et-Marne).

Perdonnet (Auguste), O ✻, administrateur au chemin de fer de Strasbourg.

Péreire (Eugène), O ✻ *, faubourg Saint-Honoré, 35.

Pérignon, faubourg Saint-Honoré, 105.

Perrot ✻, rue de Sèvres, 76, à Vaugirard.

Petiet (Jules), O ✻ * + *, rue Lafayette, 54.

Petin, à Rive-de-Gier (Loire).

Petit de Coupray ✻ *, rue Lafayette, 50.

Petitgand, rue Bleue, 5.

Petitjean, rue de Bruxelles, 15.

Pétre, place Vendôme, 16.

Picard, à Privas (Ardèche).

Pierron ✻, rue de l'Église, 13, aux Batignolles.

Pinat, aux forges d'Allévard (Isère).

Piqué, boulevard Beaumarchais, 30.

Piquet, ingénieur en chef des mines à Gibraleon, province de Huelva (Espagne).

Planhol (De) ✻, à Bayeux (Calvados).

Plazolles, rue des Jeuneurs, 27.

Poinsot, rue d'Hauteville, 45.

Pollet, à Huelva (Andalousie).

Poiret, au Mans (Sarthe).

Poncet, Cours-la-Reine, 28.

Poncin, à Saint-Antoine (Tarn-et-Garonne).

Pot, Grande-Rue Marengo, 20, à Marseille.

Pothier (Alfred-Franç.), rue des Coutures-St-Gervais, 1.

Pottier (Ferdinand), passage des Eaux, 4, à Passy.
Pouchet, rue Dauphine, 20.
Pouell, chef de section au chemin de fer du Nord, à Douai.
Poupé, à Amiens (Somme).
Priestley, rue Saint-Gilles, 17.
Princet, rue de Bondy, 92.
Prisse ✻, au chemin de fer d'Anvers, à Gand.
Pronnier, rue Chaptal, 22.
Pury (De), à Neuchâtel (Suisse).
Raabe (Emile), directeur des verreries de la Loire et du Rhône, à Rive-de-Gier (Loire).
Rancès, rue Neuve, 30, à Bordeaux (Gironde).
Redon, allée des Bénédictins, à Limoges (Haute-Vienne).
Regad (Léon), boulevard Longchamps, 109, à Marseille.
Régel (De) ✻, à Strasbourg (Bas-Rhin).
Regnault, rue de Stockolm, 4.
Renard, rue de Grenelle Saint-Germain, 59.
Renaud, à Deluz, canton de Roulans (Doubs).
Reymond, à St-Nazaire (Var).
Reynaud, à Cette (Hérault).
Reytier, rue du Cherche-Midi, 34.
Rhoné ✻, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.
Ribail, rue de Londres, 49.
Richard, à Saint-Lô (Manche).
Richomme, rue de Dunkerque, 15.
Richoux, quai Saint-Michel, 19.
Rocé, à Pont-à-Mousson (Meurthe)
Romme, à Saint-Quentin (Aisne).
Rouart, rue Ménilmontant, 119.
Roussel (Simon), rue Saint-Louis, 67.
Roy (Edmond), quai Voltaire, 25.
Roze, rue des Filles-du-Calvaire, 25.

Ruolz (de) O ✵ ✱, rue du Cherche-Midi, 71.
Saint-James, rue de la Fontaine, 64, à Auteuil.
Salleron, à Sens (Yonne).
Salvétat ✵, à la Manufacture impériale de Sèvres.
Sambuc, Alservorstadt, 130, à Vienne (Autriche).
Sarazin, boulevard de Strasbourg, 89.
Saulnier, rue Saint-Sulpice, 24.
Sautter, avenue Montaigne, 37.
Scellier, directeur de la fabrique d'horlogerie de Badevel, près Audincourt (Doubs).
Schivre, à Epernay (Marne).
Schlincker, à Creutzwald (Moselle).
Schlumberger ✱, au château de Guebwiller (Haut-Rhin).
Schmerber, à Mulhouse (Haut-Rhin).
Séguin (Paul), rue de la Ville-Lévêque, 40.
Ser, impasse Mazagran, 2.
Servel, à Bordeaux (Gironde).
Siéber, à Audincourt (Doubs).
Simon (Paul), à Mettlach (Prusse rhénane).
Souchay, à Rome.
Stéger, aux ateliers du chemin de fer d'Orléans, à Ivry.
Sulzberger-Zeigler, à Winterthur (Suisse).
Tardieu, rue des Ursulines, à Valenciennes (Nord).
Tardieu (Georges), rue de Tournon, 13.
Tétard, rue Bonaparte, 47.
Thaurin, rue d'Amsterdam, 64.
Thauvin, rue Saint-Denis, 328.
Thétard, rue de Verneuil, 20.
Thevenet, rue de la Rochefoucaud, 25.
Thirion, boulevard Beaumarchais, 95.
Thomas (Léonce) ✵, rue des Beaux-Arts, 2.
Thomas (Frédéric), à Cramaux (Tarn).

Thomé de Gamond, rue du Havre, 5.
Thouin ✻, rue de Valenciennes, 1.
Thouvenot, à Bex, canton de Vaud (Suisse).
Tourneux (Félix), rue de Penthièvre, 15.
Tresca ✻ ✻ ✻ ✻ ✻, ingénieur sous-directeur, au Conservatoire des Arts et métiers.
Trélat ✻, rue de la Tour-d'Auvergne, 37.
Tronquoy (Camille), rue Mazagran, 20.
Vaillant, rue d'Enghien, 49.
Valentin, à Anvers.
Valério, rue Basse-du-Rempart, 44.
Vallez, à Trith-Saint-Léger, près Valenciennes (Nord).
Vallier, rue de la Paroisse, 73, à Versailles.
Vandel, aux forges de la Ferrière-sous-Jougne (Doubs).
Vauthier, à Martigny, Valais (Suisse).
Vée, rue des Poissonniers, à Saint-Denis.
Vigneaux, place Royale, 15.
Vinchon, rue de Hanovre, 5.
Viron, au chemin de fer, à Angoulême (Charente).
Voruz aîné, à Nantes (Loire-Inférieure).
Vuigner (Emile), O ✻, rue du Faubourg-Saint-Denis, 146.
Vuillemin ✻, à Epernay (Marne).
Wahl, rue de Bercy, 4, à Paris.
Wallaert, à Lille (Nord).
Weil (Frédéric), rue des Petites-Ecuries, 13.
Willien (Léon), rue du Fg-de-Saverne, 55, à Strasbourg.
Windisch, avenue des Ternes, 38, aux Ternes.
Wissocq (Alfred), à Amiens (Somme).
Wolski, ingénieur des mines d'Auriol (Bouches-du-Rhône).
Yvert (Léon), rue Tronchet, 29.
Yvon-Villarceau ✻ ✻, à l'Observatoire.

RÉSUMÉ DES PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

PENDANT LE 1er TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1860

SÉANCE DU 6 JANVIER 1860

Présidence de M. FAURE

L'ordre du jour appelle l'installation du Président et des membres du bureau et du comité récemment élus. M. Faure, président sortant, prononce l'allocution suivante :

Messieurs,

Avant d'appeler à ce fauteuil l'homme éminent que vous avez voulu mettre à votre tête une fois encore afin d'honorer *le corps des ingénieurs libres*, en revendiquant pour lui une belle part dans un de ces grands et hardis travaux qui doivent rester inscrits en lettres d'or à l'histoire de la construction moderne, j'ai une dernière tâche à accomplir : je dois résumer devant vous les travaux de la Société des ingénieurs civils pendant l'année 1859.

Faut-il le dire bien haut, ou bien bas? Je sens en moi une affliction réelle et sérieuse en abordant cet examen rétrospectif, parce que, après avoir songé à ce que pourraient, à ce que devraient être ces travaux, pour donner la mesure exacte et explicite de la valeur du corps représenté ici par cinq cents ingénieurs, je suis conduit à reconnaître et à dire qu'il y a insuffisance !

Pardonnez-moi cet aveu, ce reproche, Messieurs, parce qu'il procède à la fois et de mon affection pour la Société, de ma gratitude pour elle, pour vous tous, et de la haute ambition que je trouve en moi à l'endroit de tout ce qui se rapporte au corps du génie civil. Mais je laisse à une parole plus influente, à l'autorité du talent et d'une haute position noble-

ment conquise, le soin de gourmander les apathies, les défaillances partielles, dans notre ruche de travail en commun.

Toutefois, avant d'aborder le résumé qui vous est dû, j'ai à remplir tout d'abord un devoir pieux, à jeter une fleur de bon et fraternel souvenir sur ceux que la mort a frappés parmi nous durant l'année qui vient de finir :

Donc, à M. CAMILLE POLONCEAU, dignement loué déjà par une parole que nous aimons tous, pleuré par nous, par tous ceux qui savent comment Polonceau a honoré notre noble profession, qui connaissent ses travaux mécaniques, ses grandes qualités d'administrateur ;

A MM. CORNET et FAURE DE VILLATTE, moissonnés jeunes encore, et dont les travaux autorisaient de belles espérances, cruellement déçues ;

A M. LEFRANÇOIS fils, presque adolescent par l'âge, rompu déjà à la carrière du constructeur, dévoré par l'étude et par la pratique ;

A M. MARTIN de Besançon, architecte ingénieur, homme d'imagination, et dont la vie fut remplie par des travaux très-divers ;

A M. CHARLES CHEVALLIER, ingénieux et habile constructeur d'instruments de précision ;

A M. CHAPRON, mort avant d'avoir pu donner autre chose que des espérances par ses études dans une Compagnie de chemin de fer ;

A M. VOLLANT, sur lequel j'ai le regret de n'avoir pu recueillir encore les données qui caractérisent sa carrière, trop tôt brisée.

Ces devoirs de tristesse accomplis, je puis aborder le résumé de vos travaux pendant l'année 1859.

A la première heure, c'est-à-dire à la première séance de janvier, je rencontre une belle étude de M. Eugène Flachat sur les conditions de l'achèvement de notre réseau de lignes ferrées, et sur la part qui a été faite dans leur construction, dans leur exploitation, aux ingénieurs de l'État, pendant que les ingénieurs libres voient diminuer chaque jour, sinon amoindrir, celle qui leur appartint, si belle, si grande jadis ! Dans cette leçon, *ex professo*, je retrouve un exposé rapide et brillant des progrès de la science de l'ingénieur durant l'année 1858. Laissez-moi vous dire pourquoi j'arrête vos regards sur cet exposé : c'est que M. Flachat, en me cédant la place que je vais céder à mon tour, avait su voiler, sous un grandiose emprunté en dehors de notre Société, le même regret, les mêmes reproches que j'exprimais il y a un instant touchant l'insuffisance de nos travaux. J'admire le biais, sans me sentir la force de le reprendre en sous-œuvre.

Puisque le nom de M. Eugène Flachat se trouve le premier dans ma bouche aujourd'hui, je lui veux dire merci encore une fois et du fond du cœur, parce qu'il n'a pas fait défaut à votre pauvre Président de 1859. Je vous prouverai bientôt que ce remerciment ne fait qu'essayer d'acquitter la dette de tous.

Tout n'est pas tristesse dans ma mission de ce jour, car, après ce premier travail de M. Flachat, je trouve, dans nos procès-verbaux, la première communication de M. Vuigner sur les fondations du pont international sur

le Rhin. Nous nous rappelons tous l'impression qu'elle produisit ; et tous, nous avons été heureux et attentifs, lorsque, ensuite, dans quatre communications échelonnées, M. Vuignier a su nous faire assister, de loin, aux progrès du grand-œuvre, en nous disant ses péripéties, en enregistrant une victoire plus belle, plus rapide chaque fois.

M. Ch. Laurent, un de ceux qui travaillent dans la ruche, n'est-ce pas ? de ceux qui ont répondu à mes prières, nous faisait connaître, par une analyse approfondie, l'ingénieux procédé de notre collègue, M. Guibal, pour le fonçage d'une avaleresse à travers les sables mouvants.

En février 1859, votre Président essayait d'analyser, devant vous, les études sur le canal de Nicaragua, telles que venait de les exposer une publication récente ; et, si un commencement de discussion a pu révéler les difficultés grandes du projet Belly et Thomé de Gamond, l'insuffisance des données acquises, l'incertitude des solutions annoncées, je puis croire du moins que ce coup d'œil jeté sur un projet d'avenir immense n'a pas été un acte inutile à notre Société.

L'étude et la discussion du mémoire de M. le Préfet de la Seine sur le projet de dérivation des eaux de la Somme-Soude et sur la canalisation souterraine de Paris devaient vous occuper ; je puis donc revendiquer comme un acte utile la mise à l'étude, parmi nous, de cette grande question.

Grâce au zèle intelligent de l'un de vos secrétaires, M. Guillaume, vous avez entendu d'abord un résumé lucide de ce grand travail ; et les discussions auxquelles ce résumé a servi de prologue ont pu faire croire, durant quelques séances, que la Société voudrait et saurait revendiquer une part de compétence et d'autorité réelle, bien qu'officieuse, dans l'étude des projets destinés à fournir de l'eau à la consommation de la ville de Paris. Il est donc juste de rappeler aujourd'hui les noms de quelques-uns, au moins, entre ceux qui ont pris à ces discussions une part active. Je citerai MM. Edmond Roy, Laurens, E. Flachat, moi-même enfin, et vous me pardonnerez la personnalité obligée, puisque j'esquisse une page de notre histoire.

Pourquoi faut-il que certaines causes plus ou moins complexes, ou même quelques apathies regrettables, aient empêché de se produire ici tout ce qui aurait pu être dit sur ce vaste et beau sujet par des hommes que je n'ai pas le droit de nommer puisqu'ils ont voulu rester muets, mais dont vous dites les noms tout bas pendant que je parle.

Je ne sais si la Société peut *s'accuser* d'avoir exercé une influence telle quelle sur le temps d'arrêt qui semble s'être produit dans le projet de dérivation de la Somme-Soude, avec son volume encore hypothétique à cette heure ; mais, je tiens pour certain que, si les ingénieurs auxquels nous pensons tous avaient voulu fournir ici leur contingent, les paroles *peu adoucies*, que je lisais, il y a peu de temps, dans certain document administratif, auraient pu sembler dictées par une sorte de dépit à peine déguisé contre ceux qui, prenant conseil et autorité de leurs seules études, se croient le droit d'examen, voire même de critique vis-à-vis des do-

cuments *publiés*, quand ceux-ci sont du ressort de ces études spéciales.

J'imagine, malgré tout, que la Société a fait une chose convenable et utile en étudiant, même officieusement, cette belle question; et je crois qu'on arrivera à trouver des idées saines et sérieuses, de bons chiffres, des opinions compétentes et éclairées, dans nos procès-verbaux de février, mars et avril 1859; ou bien encore dans une intéressante publication ultérieure de M. E. Roy, dont le germe est très-certainement né dans cette enceinte, et que dès lors j'ai le droit de revendiquer à l'avoir des travaux de notre ruche.

Puisque j'ai cru devoir formuler aujourd'hui des regrets, des reproches même vis-à-vis de tous, c'est un devoir aussi et en même temps un bonheur de continuer à dire, au même jour et avec insistance, les noms de ceux qui se sont dévoués à la Société pendant l'année 1859. A M. Ch. Laurent, nommé déjà, vous devez un excellent travail sur les sondages du Sahara oriental. Une étude géologique ingénieuse autant qu'attrayante, la connaissance de résultats magnifiques, voilà ce que nous devons à cette communication, qui a inscrit dans nos bulletins la preuve de ce que peut produire la sonde dans les mains de M. Degousée, de ses enfants, de ses élèves. Notez-le bien, Messieurs, il y a de la gloire solide dans cette initiative de M. Ch. Laurent plantant la sonde en Algérie; car il a ainsi marqué le point de départ d'une ère fécondante pour notre colonie, et, si je ne me trompe, nous pouvons dire avec quelque orgueil : « C'est l'un des nôtres qui a signalé l'avenir des sondages dans ces belles régions. » Le jalonnage de ceux-ci, dû à M. Laurent, portera ses fruits, avec ou sans continuation de son concours.

A M. Laurent, encore, vous devez une utile communication sur des procédés d'étirage de tuyaux en cuivre, et la fidèle analyse d'un remarquable travail de M. Luigi Cangiano sur les eaux de Naples et sur des phénomènes intéressants d'obstructions calcaires.

Parmi les jeunes et bons travailleurs de l'année, j'ai plaisir à citer M. Richoux. Il analyse et critique un consciencieux et laborieux mémoire de M. Curtel sur la fabrication des rails; il nous fait connaître une intéressante note de M. Mariotte sur une ingénieuse fabrication de tuyaux en plomb étamés intérieurement et extérieurement. Une autre fois, il communique les dessins d'une grue hydraulique, d'une grue roulante, ou bien il donne des détails utiles sur les clôtures économiques des voies ferrées, entre Tarbes et Mont-de-Marsan; sur un mode nouveau d'éclissage, imaginé par M. Garnier.

Grâce à M. Richoux, à M. Tronquoy, nous avons entendu une analyse consciencieuse des excellentes publications de notre collègue M. Love, sur la résistance des matériaux; la richesse du livre de M. Love, en faits observés, en données utiles et pratiques, nous conduit à désirer vivement la suite de ces études sur des sujets qui intéressent à un si haut point l'art récent des constructions métalliques.

M. Tronquoy, après vous avoir fait connaître une bonne lampe sous-marine de M. Guigardet, nous a donné encore d'utiles tableaux, des *barèmes pratiques* calculés par lui et applicables aux poutres en fers à *T*.

M. François Coignet a su nous attacher une fois encore par le récit toujours lucide de ses nouvelles études sur les bétons, en mettant en lumière l'importance de ses procédés d'agglomération, en nous disant les résultats constatés par ses expériences poursuivies avec une infatigable ardeur. Elles permettent d'espérer, disons mieux, de prédire, un avenir considérable pour ce mode de construction, avec ses ressources infinies; d'entrevoir dans le monolithisme parfait,économiquement et sûrement obtenu, la solution de grandes constructions fluviales et maritimes.

M. Ckiandi a donné un bon exemple, trop rarement pratiqué par malheur. Il s'est empressé de payer sa dette d'admission, en exposant devant nous son système, très-ingénieux, très-original, de distillation successive et méthodique des goudrons, et je suis sûr d'être l'écho fidèle de vos impressions, en disant que cette communication a offert un très-vif intérêt.

M. Boudard aîné, en nous donnant une note sur le curage et l'entretien des cours d'eau industriels, analysée devant vous par M. H. Péligot, en nous faisant connaître les détails d'exécution imaginés, en donnant des chiffres utiles et vrais sur le prix de revient de ces opérations pratiquées par lui avec un véritable succès, a certainement rendu service aux industriels dont les usines sont animées par des moteurs hydrauliques.

Deux intéressantes applications de l'électricité nous ont été signalées; l'une, par M. Aug. Achard, qui a décrit et fait fonctionner devant vous son très-ingénieux système d'embrayage électrique pour l'alimentation à niveau constant des chaudières à vapeur, en vous indiquant avec quelques détails son application à la marche des trains sur les voies ferrées; l'autre, par M. Thévenet, ayant pour but et pour objet la régularisation de l'éclairage au gaz, imaginé par MM. Bréguet et Giroud.

M. Barroux est venu exposer devant vous les améliorations et les perfectionnements qu'il s'est efforcé d'ajouter à un mode d'établissement de voie éclissée qu'il vous avait précédemment soumis.

Citons encore, parmi les sujets divers qui ont occupé la Société durant l'année qui vient de finir, une analyse par M. Yvert des coupes géologiques du sous-sol parisien dressées par M. Delesse, ingénieur des mines; un exposé par M. Benoît-Duportail du mode de fabrication des essieux coudés propre à M. Laubenière ; un croisement de voie employé en Belgique, très-simple et très-durable, qui a été expliqué par M. Goschler; une très-ingénieuse explication de l'affaissement des falaises sur les côtes du Calvados, par M. de Dion ; une notice sur un beau projet de développement du port de Saint-Nazaire, étudié par M. Love, et une revue de l'exposition de Rouen, par M. Alcan.

L'injecteur auto-moteur de M. Giffard, cet appareil si séduisant, auquel semble promis un si bel avenir, après avoir été introduit incidemment devant vous, en donnant occasion à l'un de nos collègues, M. Eugène Bourdon, de rappeler d'intéressants travaux antérieurs sur l'utilisation d'un jet de vapeur pour imprimer le mouvement aux fluides, dus à Mannoury-Dectot, est devenu et devait devenir le but de nos études en commun. Déjà vous vous en êtes occupés dans plusieurs séances, et bientôt vous aurez à discu-

ter un travail important sur cette matière, dû à l'un de vos jeunes collègues, M. Ermel. Une théorie délicate et difficile, des observations trop peu nombreuses encore, laissent le champ libre aux espérances les plus grandes, en même temps qu'à la discussion; mais la simplicité presque absolue de l'injecteur auto-moteur, si on le compare aux appareils d'alimentation qu'il vise à remplacer, recommande à toute votre attention cette heureuse et nouvelle application d'un principe fécond certainement, la transmission de la puissance vive de la vapeur à un fluide, à un gaz.

Parmi les sujets introduits devant vous, mais non discutés encore, je rencontre un nouveau propulseur étudié par M. Hervier, l'un de nos collègues, appliqué par MM. Meunier et C^ie^, à la solution d'un problème d'une haute importance industrielle : le transport à petite vitesse des marchandises lourdes, sur les canaux, sur les rivières. Les données et les chiffres contenus dans une note qui nous a été adressée par M. Armengaud jeune signalent à vos études ce nouvel appareil de propulsion, qui semble appelé à conserver à notre batellerie des conditions économiques essentielles.

Enfin, Messieurs, et pour terminer dignement ce résumé, je vous rappellerai le mémoire de M. Eugène Flachat sur la traversée des Alpes. Vous avez retrouvé dans cette œuvre du maître la grandeur d'idées, l'originalité de conception et les instincts pratiques que vous aimez en lui ; vous pensez avec moi que ce travail ouvre à l'esprit un champ vaste, avec un horizon étendu, et vous vous préparez à la discussion approfondie que vous devez à ce mémoire. Adoptées par les uns, contestées par les autres, les vues et les idées de M. Flachat sur cette question grande autant que difficile ne sauraient manquer de vous passionner; de cette discussion peut et doit jaillir, si je ne me trompe, la vraie, la bonne solution d'un grand problème : la continuité du réseau ferré européen.

Ainsi les loisirs que l'on a voulu faire, avant le temps, à l'un de nos maîtres les plus aimés, auront été fertiles encore comme toute sa carrière d'ingénieur.

Messieurs, j'ai commencé ce résumé avec une sorte de tristesse intime, et voici qu'en touchant la borne je me sens ravivé. Faut-il croire, qu'en disant, je me suis laissé aller à l'illusion, à l'exagération... non! non! Cette différence s'explique d'une façon plus exacte et plus juste. En commençant, je pensais à tout ce que la Société pourrait faire; en ce moment, j'ai passé en revue ce qu'elle a fait durant l'année 1859,et j'ai reconnu une somme de bon travail.

Toutefois, je vous supplie de songer que vous pouvez, que vous devez faire beaucoup plus encore. Je le crois, je le sens et je le dis, parce que je vous connais et je vous compte, les *muets* comme les *actifs*. Allez toujours, allez encore, dirai-je à ces derniers! aux muets, aux défaillants, je dis : Songez donc que vous vous devez au corps du génie civil, à sa gloire, à sa fécondation ; songez que Brunel et Stephenson, dont M. Flachat vous a su raconter les belles carrières, n'étaient pas muets devant l'institution des ingénieurs civils de la Grande-Bretagne!

A ceux qui avaient promis du travail pour donner un peu de relief à ma

Présidence de 1859, et auxquels le temps a manqué pour tenir ces promesses, je dis en ce moment : Qu'importe ! tenez dans l'avenir, et je vous serai plus reconnaissant encore.

A ceux qui ont tenu plus qu'ils ne m'avaient promis, je dis : Merci pour moi, merci au nom de tous, et allez encore !

Permettez-moi de finir, Messieurs, en vous disant quelques mots sur ce que j'ai voulu faire durant mon année de modeste pouvoir, dans cette présidence que vous m'aviez donnée, et dont je vous remercierai par un dévouement absolu qui ne finira qu'avec moi.

Les procès-verbaux de nos séances m'avaient semblé trop courts jadis; j'ai tenu à les développer, parce que j'étais convaincu que leur substance accrue devait plaire et être utile à ceux qui ne peuvent venir parmi nous, à nos collègues absents. La pensée était bonne, je le sais : car j'ai reçu à ce sujet bon nombre de lettres qui l'attestent, et je me permets de vous le dire pour que ce bon commencement fructifie dans l'avenir.

Je me suis attaché encore à faire arriver ces procès-verbaux en temps utile, à obtenir que vos ordres du jour devinssent une vérité. Petites choses, tout cela, pour ceux auquels on les raconte; difficiles cependant, et beaucoup, pour celui qui sait combien on a de peine à les réaliser !

Enfin j'avais pris place à ce fauteuil, avec vos bulletins trimestriels mis à jour, et j'ai tenu à honneur, à devoir, de continuer cet heureux et difficile précédent. Le bulletin du dernier trimestre est sous presse; et, si j'énumère à part moi les titres des mémoires qui composent le volume de 1859, je crois pouvoir dire qu'il a été dignement et utilement rempli.

Maintenant, M. Vuigner, mon bon et cher Président, venez vous asseoir ici, à cette place, qui fut mienne par l'affection, qui est redevenue vôtre une fois encore, parce que, à notre affection, se sont venus joindre tous vos anciens titres à nos respects, à notre dévouement, et ce titre nouveau : votre coopération dans les travaux du pont international sur le Rhin.

Appelez à vos côtés M. Eugène Flachat, que nous avons nommé pour lui dire merci, une fois encore; M. Petiet parce qu'il représente, lui aussi, la belle carrière que peut fournir l'ingénieur civil, dans sa plus haute valeur; M. Forquenot, parce que la bonne pensée de le ramener à ce bureau, au moment opportun pour que ce rappel eût une signification précise, vous a été gracieusement inspirée par M. Nozo, avec une abnégation que j'aime à rappeler; M. Laurens enfin, parce que ses travaux lui avaient depuis longtemps marqué et retenu une place à notre tête.

Ce faisceau de noms me semble, à moi, et paraîtra à tous, un beau témoignage, une revendication significative touchant la valeur de notre profession d'ingénieurs libres.

Pour moi, Messieurs, en rentrant dans votre comité, plein de gratitude pour la pensée qui vous a conduits à m'y garder une place, je vous dis du fond du cœur :

Celui qui a eu l'honneur d'être appelé à vous présider reste votre débiteur à toujours; et moi, en particulier, j'ai bien peur de rester vis-à-vis de vous

quelque peu insolvable, parce que celui à qui l'on avait donné trop ne saurait jamais payer assez.

M. Vuigner prend place au fauteuil de la Présidence et prononce l'allocution suivante :

Messieurs,

Lorsqu'en 1859 j'ai pris le fauteuil de la Présidence, je vous ai dit que je n'avais plus rien à désirer dans ma carrière d'ingénieur, puisque j'étais appelé à l'honneur de vous présider.

Ce qui s'est passé, depuis lors, m'a fait reconnaître que je m'étais trop avancé, et, il faut bien l'avouer, je trouve aujourd'hui qu'il me reste beaucoup à désirer encore, non pas en ce qui me concerne personnellement, mais pour le génie civil en France.

A l'époque où s'est formée la Société des ingénieurs civils, en 1848, il y avait, parmi les membres qui ont coopéré à cette formation et qui voulaient constituer le corps du génie civil en France d'une manière forte et durable, un enthousiasme difficile à exprimer.

On demandait alors des séances hebdomadaires et ce n'est pas sans une vive opposition que les réunions de quinzaine ont été admises.

Aucun local ne paraissant assez vaste pour nos séances..... il fallait des salons plus vastes encore pour les archives, pour les réunions journalières.

Pendant les premières années, du reste, les réunions ont été très-nombreuses ; les communications ont abondé ; des discussions importantes et intéressant au plus haut degré la science de l'ingénieur ont eu lieu ; on n'a eu que l'embarras du choix, enfin, pour les mémoires à insérer dans nos bulletins trimestriels.

Pour faire face à ce premier élan et pour l'entretenir, nous avons dû faire disposer un local spécial pour nos séances ; nous y avons formé une bibliothèque, qui ne laisse pas d'avoir déjà une certaine importance ; nous avons nommé un secrétaire archiviste pour y rester presque en permanence.

Mais le feu sacré s'est un peu trop ralenti, et, bien que le nombre des sociétaires ait quintuplé depuis 1848, nos séances de quinzaine sont bien moins suivies qu'elles ne l'étaient dans l'origine ; c'est à peine si l'on y rencontre maintenant un dixième du nombre des membres de la Société.

Quelques sociétaires viennent, de temps à autre, consulter les documents de nos archives ; mais le nombre de ces sociétaires zélés va plutôt en diminuant qu'en augmentant, tandis que la proportion devrait être inverse.

Les communications pour les séances ne font pas défaut, mais ce sont presque toujours les mêmes membres qui travaillent à ces communications,

comme l'ont fait observer, avec juste raison, nos deux derniers Présidents en quittant le fauteuil, c'est avec une peine extrême qu'ils ont pu arriver à obtenir des mémoires des autres membres de la Société et, notamment, des nouveaux élus.

Nos bulletins trimestriels sont suffisamment alimentés, puisque le dernier bulletin de l'année dernière ne tardera pas à paraître; mais nous devrions faire beaucoup plus encore, pour les maintenir à la hauteur du progrès de la science et même pour devancer ce progrès.

Notre honorable Président a donné l'exemple en apportant sur une des questions à l'ordre du jour, le projet de distribution d'eau dans Paris au moyen de la dérivation de la Somme-Soude, un mémoire complet. Ce n'était pas seulement l'analyse du projet présenté; ce mémoire contenait les observations les plus judicieuses, les plus sensées, sur l'incertitude du résultat; on y trouvait une appréciation exacte de l'état de la question, et les considérations les plus rationnelles pour motiver une autre solution, que l'état de la science devait faire considérer comme certaine. — Je ne crois pas me tromper en disant que la production de ce mémoire a été un des éléments qui ont contribué à arrêter l'édilité parisienne dans l'approbation du projet.

Vous venez d'entendre l'analyse des autres communications ou productions de mémoires en 1859. — Je ne rentrerai pas dans tous ces détails, puisque ce ne pourrait être que des répétitions; mais vous jugerez comme moi, que cette année a été peu différente, sous ce rapport, de l'année 1858, et qu'il y a lieu d'améliorer cette situation.

Il ne faut pas qu'on puisse dire qu'à l'enthousiasme a succédé la tiédeur, qu'il serait à craindre qu'on arrivât à l'indifférence, surtout lorsque le nombre des sociétaires va toujours en augmentant, et que nous avons chez nous tous les éléments nécessaires pour nous fortifier et grandir.

Il ne faut pas qu'on puisse dire que beaucoup d'ingénieurs se font agréer dans notre Société en faisant force promesses, et qu'aucun ne satisfait complètement ensuite aux conditions de son admission, en ce qui concerne notamment la production de mémoires, qui doit être faite dans un délai déterminé. — Il serait à craindre, dans ce cas, qu'on en tirât la conséquence que, pour certains, il n'a été cherché qu'un titre, et qu'une fois obtenu on se préoccupa peu des obligations contractées.

Il faut songer, enfin, que nous avons adressé à l'administration supérieure compétente une demande tendant à ce que la Société des ingénieurs civils fût déclarée d'utilité publique; qu'il serait important d'arriver cette année à une solution quelconque, et que nous devons tous redoubler de zèle pour atteindre ce but, et laisser à nos successeurs une Société fondée sur des bases solides et hors de toute atteinte.

J'avais fait, dans le courant de 1859, des démarches dans les bureaux du Ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, pour obtenir qu'il fût donné suite à cette demande; je les ai renouvelées cette année déjà, et je compte bien m'occuper incessamment de cette question.

On reconnaît bien, à l'administration supérieure, qu'il y a dans les

ingénieurs civils beaucoup de membres éminents qui ont fait leurs preuves de talent et d'habileté, et qui ont rendu de véritables services à la science, à l'industrie, sous toute espèce de rapports.

Ainsi, la science professionnelle n'a pas été portée plus haut jusqu'ici qu'à l'Ecole Centrale, et les professeurs qui y ont été élevés ne le cèdent pas aux anciens.

Dans la science supérieure, à l'Observatoire, l'un de nos collègues, M. Yvon-Villarceau, est un des plus habiles mathématiciens de l'époque.

Polonceau, qui vient de nous être enlevé si subitement au milieu de sa carrière, avait certainement des qualités éminentes, relativement aux questions techniques; mais il était de premier ordre encore, comme administrateur et comme économiste... Employer les masses et les rendre heureuses de leur situation, est un des problèmes les plus intéressants de l'économie politique. L'affection des ouvriers et les sentiments qui les animaient, lorsque nous avons rendu les derniers devoirs à notre bien regrettable camarade, ont prouvé que la solution qu'il avait donnée à ce problème avait atteint complètement le but.

Dans le réseau des chemins de fer, s'en trouve-t-il un qui soit plus commercialement, plus énergiquement, plus artistement exploité que celui du chemin de fer du Nord,— et ici, l'honneur de la situation, exploitation, matériel et traction, revient tout entier aux ingénieurs civils.

Dans le courant de l'année qui vient de s'écouler, notre honorable Président vous a prouvé suffisamment l'étendue de ses connaissances, et combien il y a peu de questions intéressant le génie civil auxquelles il soit resté étranger.

MM. Degousée et Laurent sont connus dans toute l'Europe pour leurs opérations de sondage.

Je ne vous parlerai pas de nos doyens, dont vous connaissez tout le mérite et toutes les œuvres.

Je sais que l'un d'eux élabore une des questions les plus capitales de l'époque, la traversée des Alpes par voie de fer, travail dont il vous a donné déjà un premier aperçu et que je m'applaudis de pouvoir faire discuter incessamment dans cette enceinte.

Je ne terminerais pas enfin, si je voulais citer les noms des ingénieurs civils français qui se distinguent journellement et qui se sont distingués dans toutes les administrations industrielles, publiques ou particulières en France comme à l'étranger.

Mais l'administration supérieure s'est préoccupée de ce que nous avions fait comme corps, de ce que nous étions devenus comme corps.

J'ai indiqué que nous existions depuis douze années déjà, et que nous n'avions pas été sans donner signe de vie, dans un intérêt général.

J'ai cité nos bulletins trimestriels, les résumés de nos discussions dans nos doubles séances mensuelles, publications qui n'avaient pas laissé que de contribuer à des améliorations notables dans beaucoup de branches d'industries, et notamment dans le matériel fixe comme dans le matériel roulant des chemins de fer.

J'ai rappelé qu'au moment de l'Exposition Universelle le gouvernement avait constaté lui-même notre existence comme corps, en prenant dans notre Société un grand nombre de membres du jury.

J'ai indiqué enfin, qu'aux termes des Statuts, la Société avait pour but :

1° D'éclairer, par la discussion et le travail en commun, les questions d'art relatives au génie civil ;

2° De concourir au développement des sciences appliquées aux grands travaux de l'industrie ;

3° De provoquer l'extention du système du concours scientifique pour l'admission aux fonctions publiques qui rentrent dans la profession d'ingénieur, telles que celles d'agents-voyers, etc., etc.;

4° D'étendre, par le concours actif de ses membres, l'enseignement professionnel parmi les ouvriers et les chefs d'industrie ou d'atelier;

5° De poursuivre, par l'étude des questions d'économie industrielle, d'administration et d'utilité publique, l'application la plus étendue des forces et des richesses du pays ;

6° D'entretenir des relations suivies et un esprit de confraternité entre tous les membres de la Société ;

7° De rechercher et de faire connaître à ses membres les positions et emplois vacants auxquels ils pourraient aspirer ;

8° Enfin d'assister temporairement, dans la limite de ses ressources, ceux de ses membres qui seraient dans la nécessité de réclamer ce concours.

Et qu'il y avait ainsi tous les éléments d'un intérêt public.

Mais il faut, maintenant, que nous prouvions de plus en plus que ce programme n'est pas pour nous une lettre morte, et que nous en acceptons toutes les conséquences.

Il faut que chacun de nous comprenne bien qu'il ne s'agit pas de travailler pour son propre compte, de s'isoler dans sa spécialité ou dans ses fonctions, mais qu'il est indispensable que nous travaillions tous pour la Société.

Il faut enfin que nous arrivions à avoir cet esprit de corps qui constitue la puissance et la force de beaucoup d'autres Sociétés.

Loin de moi la pensée de demander le retour à ce zèle enthousiaste qui a suivi notre constitution. — L'excès en tout est un défaut, dit avec juste raison un proverbe picard. — Je me borne à réclamer une certaine ferveur, une plus grande confiance dans notre Société, plus d'empressement à suivre nos séances, à produire des mémoires pour les alimenter et pour remplir nos bulletins trimestriels, l'exécution complète des conditions imposées par nos Statuts et nos réglements, et surtout enfin plus de confraternité.

Si ces conseils, que mes soixante années d'âge et mon retour à la présidence me donnent quelques droits à vous donner, sont écoutés par vous, comme j'ai tout lieu de l'espérer, ce sera pour moi la preuve que j'avais raison d'avoir confiance dans l'avenir de notre Société ; et alors, mais alors seulement, je pourrai dire avec plaisir, avec bonheur, en quittant ce fauteuil, que je n'aurai plus rien à désirer dans ma carrière d'ingénieur.

M. Vuigner donne ensuite les renseignements suivants sur les fondations du pont du Rhin à Kehl.

Les caissons de la deuxième pile intermédiaire ont atteint le 22 décembre, dans l'après-midi, la profondeur de 20 m. au-dessous de l'étiage; l'opération du fonçage de ces caissons est donc terminée, et l'on peut dire que les travaux inhérents au nouveau système de fondation, appliqué aux piles du pont sur le Rhin à Kehl, sont arrivés à leur terme.

En vous faisant connaître ce résultat, je crois devoir rappeler succinctement les diverses phases de l'application de ce système nouveau pour chacune des piles en rivière.

L'opération du fonçage des caissons de la première pile culée, de la rive française, a été commencée le 22 mars dernier et a été terminée le 27 mai suivant; elle a donc duré soixante jours.

Vous vous rappelez que, pour la fondation de cette première pile culée, on a employé quatre caissons en tôle ayant chacun une longueur de 5^{m} 80, une largeur de 7^{m} et une hauteur de 3^{m} 60; que chacun de ces caissons était garni de deux cheminées à air et d'une cheminée à eau, et qu'ils étaient surmontés de coffrages en bois, dans lesquels on a coulé du béton au fur et à mesure de leur enfoncement dans le sol.

La maçonnerie de béton a été formée ainsi d'abord de quatre blocs séparés, mais à une certaine hauteur on a supprimé les garnitures en madriers sur les côtés en contact des coffrages en bois, et on n'a plus formé alors qu'un seul bloc de maçonnerie.

On avait cru d'abord pouvoir s'arrêter à une profondeur de 18^{m} au-dessous de l'étiage; mais on a rencontré à 17^{m} 75 c. une veine assez épaisse de sable limoneux, presque sans mélange de gravier, dans laquelle les caissons s'enfonçaient presque par leur propre poids, et force a été de descendre jusqu'à 20 m. pour asseoir les caissons sur le gravier normal du Rhin et éviter ainsi toute chance d'affouillement.

Dans les soixante-huit jours de durée de l'opération de fonçage des caissons, il y a eu vingt jours d'interruption pour réparation de machines, et il n'y a eu en conséquence que quarante-huit journées de travail effectif; de telle sorte que la descente quotidienne moyenne des caissons a été de 0^{m} 38 c., en ne comptant que les jours de travail.

Le fonçage des caissons de la pile culée de la rive badoise, qui avait commencé le 9 août, a été terminé le 14 septembre. Cette opération n'a duré ainsi que trente-cinq jours; la profondeur atteinte était de 20 m. au-dessous de l'étiage, comme pour les premières piles culées.

Je vous ai indiqué déjà que, pour cette seconde pile culée, on avait employé des caissons de mêmes forme et dimensions que ceux de la première pile, mais qu'on avait supprimé complétement les coffrages en bois, et qu'on avait construit les maçonneries à sec, au-dessus des caissons, au fur et à mesure de leur enfoncement dans le sol, en formant ainsi un seul bloc d'une longueur de 23^{m} 20 c. sur une largeur de 7 m.

Je vous ai dit aussi que, tout en employant quatre caissons séparés, garnis chacun de leurs cheminées de service, avec cette seule modification,

relativement aux cheminées à eau, qu'elles avaient été formées dans les maçonneries avec parements en briques et de forme elliptique, on avait réuni les caissons les uns aux autres, en établissant des portes de communication, pour ne former pour ainsi dire qu'un seul caisson à quatre compartiments; la première idée de M. Fleur Saint Denis, qui était de faire descendre une seule masse de maçonnerie, en opérant des dragages dans l'intérieur des caissons et en sur-exhaussant cette masse au fur et à mesure de l'enfoncement de ces caissons dans le sol, a été mise à exécution, avec des perfectionnements notables, toutefois, sur les dispositions primitivement admises.

Je vous ai indiqué encore enfin que la descente des caissons s'était faite avec tant de régularité, qu'on avait pu la régler rigoureusement sur la hauteur des maçonneries qu'on pouvait exécuter chaque jour. Cette descente des caissons a été en moyenne de 0m 57 c., en ne tenant pas compte des journées d'interruption de travail.

Pour la première pile intermédiaire, l'opération de fonçage a été commencée le 15 octobre et elle a été terminée le 16 novembre; de telle sorte qu'elle n'a duré que 31 jours, dont 25 journées de travail effectif et 5 jours d'interruption occasionnée par les crues anormales des eaux du Rhin dans les premiers jours de novembre.

On n'a employé pour les fondations de cette pile intermédiaire que trois caissons, de mêmes forme et dimensions que celles des caissons des deux piles culées, et on s'est conformé pour les autres dispositions à celles admises pour les fondations de la seconde pile culée.

En ne comptant pour la durée de l'opération de fonçage que les vingt-cinq journées de travail effectif, la descente moyenne des caissons a été de 0m 80 par jour.

Le fonçage pour la 4e et dernière pile, commencé le 22 novembre, a été terminé le 22 décembre; cette opération n'a donc duré que trente jours, dont 23 jours de travail effectif et 7 journées de chômage; de telle sorte que la descente des caissons a été moyennement de 0m 87 c.

Cette moyenne a donc toujours été en progressant, puisqu'elle a été :

Pour la 1re	pile culée	de	0m38
— 2e	—	de	0m57
— 1re	pile intermédiaire	de	0m80
— 2e	—	de	0m87

Dans l'emplacement de la dernière pile culée le fond du lit présentait un plan très-incliné de la rive gauche à la rive droite du fleuve, dont le talweg est du côté de la rive badoise; il est résulté de cette situation que les caissons en s'enfonçant dans le sol ont été poussés de la gauche sur la droite, ou pour mieux dire de l'Ouest à l'Est, par l'excès de hauteur des graviers et en se déplaçant latéralement. Des graviers et des enrochement ont été jetés du côté Est pour rétablir l'équilibre, en suspendant momentanément l'opération de fonçage; lorsqu'on a repris cette opération, on a laissé tomber du même côté les graviers provenant des dragages dans l'intérieur des caissons, et on est arrivé ainsi, non-seulement à arrêter le

mouvement latéral des caissons, mais encore à les faire revenir à leur position normale.

Un effet à peu près semblable s'était produit accidentellement lorsque les caissons de la première pile intermédiaire avaient atteint déjà une profondeur de 17 m 50. La crue des eaux du Rhin ayant fait suspendre le mouvement des marie-salope, on avait versé dans le lit du fleuve, du côté Est, les graviers amenés par les godets des norias, et il en était résulté un déplacement latéral des caissons et de la masse des maçonneries, qu'on n'est parvenu à arrêter et à annuler qu'en rejetant ces graviers du côté Ouest. Cette expérience a été mise à profit lorsque le même déplacement latéral s'est produit à la dernière pile.

Ces effets prouvent avec quelle facilité de semblables masses peuvent être déplacées dans des graviers aussi mobiles que ceux du Rhin, et donnent la mesure des chances d'accidents graves auxquels on eût été exposé si l'on n'avait pas atteint une profondeur de 20 m. au-dessous des plus basses eaux. — On peut en déduire aussi que, dans l'espèce, des piles tubulaires n'auraient présenté aucune certitude de stabilité.

Les travaux restant à faire pour compléter les fondations du pont du Rhin à Kehl ne sont plus maintenant que des travaux ordinaires, qui ne présentent aucune espèce de difficulté.

SÉANCE DU 20 JANVIER 1860

Présidence de M. Vuigner

M. Coignet rend compte des expériences qu'il a faites pendant l'année qui vient de s'écouler, sur les bétons agglomérés; les espérances qu'il avait conçues et dont il avait déjà entretenu la Société ont été confirmées.

M. Coignet rappelle les principes suivants, qui lui ont été démontrés par la pratique :

1° L'intensité de la prise des bétons, fabriqués avec une chaux donnée, leur densité, leur résistance aux intempéries, leur imperméabilité, sont proportionnelles à leur état d'agglomération ;

2° L'agglomération n'est possible qu'en réduisant la quantité d'eau existant ordinairement dans les bétons et en les broyant d'une manière énergique, jusqu'à les amener à l'état d'une pâte plastique et ferme, qui, par le pilonnage, se condense, s'agglomère jusqu'à cohésion complète;

3° L'agglomération, lorsqu'on a employé de la bonne chaux hydraulique,

à laquelle on a ajouté 1/15 à 1/30 de ciment, donne un béton d'une prise tellement énergique, que vingt-quatre heures suffisent pour qu'il acquière la dureté de la pierre, pouvant être exposé au contact de l'eau, au frottement des pieds des piétons, et qu'au bout de trois jours il puisse être livré à la circulation des chevaux et des voitures;

4° Les bétons faits avec de la chaux hydraulique sans ciment; ceux faits avec des chaux maigres, et même ceux faits avec des chaux grasses, font prise rapidement par l'agglomération, seulement le temps de la prise est d'autant moins rapide que la chaux se rapproche plus des chaux grasses;

5° La présence d'un excès d'eau rend l'agglomération du béton impossible ou au moins imparfaite ; il est alors friable, spongieux, absorbant, gélif, sans cohésion; quelques litres d'eau suffisent pour produire cet effet; aussi pour la réussite faut-il ***employer des sables secs***, réduire la quantité de chaux ordinairement employée (1/2 ou 1/3) à n'être que 1/8 de la masse totale, ajouter des pouzzolanes,qui n'ont pas l'action chimique qu'on leur attribue généralement, mais dont le rôle véritable est d'absorber l'excès d'eau, de manière à obtenir toujours des bétons en pâte plastique et ferme;

6° Par l'agglomération, la chaux contenue dans les bétons passe à un état moléculaire nouveau, qui, par la prise, donne des calcaires compacts cristallins, analogues aux calcaires naturels (marbres et calcaires jurassiques), tandis que les procédés ordinaires laissent les bétons à l'état crayeux, ce qui fait qu'ils sont friables, spongieux, gélifs;

7° L'état cristallin des bétons agglomérés leur permet de résister à l'eau de mer, aux solutions concentrées des sels neutres, sulfate de soude et de magnésie, chlorure de magnésium, qui attaquent si rapidement les bétons ordinaires.

Après avoir ainsi rappelé les résultats pratiques obtenus, M. Coignet énumère les principaux travaux qu'il a déjà exécutés d'après son système et dont il a été question dans d'autres séances (1) ; maisons, murs, planchers, voutes, toitures en dôme ou en terrasse, corniches, balustrades chéneaux, etc., qui, après avoir supporté les chaleurs de l'été dernier n'ont pas été altérés par les froids rigoureux qui ont eu lieu récemment.

Pendant l'année 1859, des essais ont été faits à l'école des ponts et chaussées ; il a été exécuté un arc de pont de 15 mètres de portée, avec 1/10 de flèche, et une épaisseur à la clé de 0m 80.

Un réservoir à eau ayant une hauteur de 5 mètres, une épaisseur de 0m 376 aux parois, un diamètre de 1 mètre 25.

Un toit reposant sur des piliers de bétons, des dallages, des tubes d'aquéduc.

L'arc de pont a été décintré il y a quelques temps déjà, il ne s'est pas

(1) Voir les comptes-rendus des séances des 7 septembre 1855, 1er février et 17 octobre 1856, 20 fevrier et 6 mars 1857, 20 mai 1859, où sont indiqués les travaux executés et la composition des betons employes

fait de retrait, il présente la plus belle apparence et nul doute qu'il ne résiste aux efforts auxquels il doit être soumis (10,000 kilg. par mètre carré). Le réservoir, à l'origine, laissait filtrer l'eau, mais il est devenu parfaitement étanche par suite des incrustations.

La toiture a 6 mètres de portée, elle devait être supportée par 8 piliers qui ont été construits également en béton; mais en réalité, les 4 piliers d'angle servent seuls. Le dallage a résisté au passage de voitures chargées de 12,000 à 15,000 kilog.

A Bordeaux, il a été construit, par M. Brun, l'un des cesssionnaires du brevet de M. Coignet, un autre arc de pont de 2 mètres 50 de portée avec 1/15 de flèche et 30 centimètres d'épaisseur à la clé, qui a résistéàla charge de 8,500 kilog., portée par une toiture, mais qui s'est rompu sous une charge de 9.000 kilog., par suite du glissement des culées qui avaient été mal établies. Il est à remarquer d'ailleurs que la masse s'est divisée en trois morceaux seulement; ce qui est une preuve de la solidité du béton.

M. Coignet a en outre construit : deux fosses d'aisance, qui ont pu être utilisées aussitôt leur achèvement; les fondations d'une machine, fondations sur lesquelles la machine a été montée le jour même où les ouvriers de M. Coignet ont terminé leur travail.

Tous ces essais ont été des plus satisfaisants, de même que ceux exécutés sur l'invitation de l'Empereur, à Saint-Jean-de-Luz : là, les expériences ont porté sur six espèces de chaux et six espèces de ciments, avec de gros sables : trente-quatre gros blocs ont été faits à sec, puis immergés; ils ont tous résisté parfaitement : les mêmes résultats ont été obtenus sur de petits blocs construits dans la mer même, à marée basse, à la pointe du Musoir, sur le rocher; ces blocs, exposés à l'action de la marée au moment même où ils venaient d'être terminés, ont été dépouillés de leur moule le lendemain, et ont supporté sans altération, depuis cette époque, les efforts des tempêtes si violentes sur ce point de notre littoral (sur sept blocs établis dans ces conditions, deux seulement, faits avec de la chaux de mauvaise qualité, mal cuite et mal préparée, ont été quelque peu détériorés, la prise n'ayant pas été assez rapide); tous semblent soudés au rocher qui leur sert d'appui.

A Trouville-sur-Mer, M. Coignet a exécuté seize blocs, ayant pour base la chaux du littoral et du sable d'une finesse impalpable, contenant des coquilles; ces blocs, depuis leur immersion (quatre mois environ), ont résisté comme ceux de Saint-Jean-de-Luz.

Tous ces résultats si heureux, qui ont pour ainsi dire dépassé les espérances qu'on pouvait concevoir à l'origine, ont suggéré à M. Coignet l'idée de nombreuses applications qu'il soumet à la Société.

1° La construction de barrages monolithes résistant à l'action des eaux, ne permettant pas aux plantes de désagréger les éléments constitutifs et qui en cas d'affouillement résisteraient encore par la solidité propre du béton, solidité qu'il serait facile d'accroître en introduisant dans la masse, au moment de la construction, des petits morceaux de fer formant crampons et réunissant les parties qui tendraient à se séparer ;

2° La construction de digues, de jetées en mer, par l'immersion de blocs construits à sec, dont les dimensions et le poids seraient aussi considérables qu'on le voudrait. La difficulté consistant dans les moyens mécaniques à employer pour mouvoir ces blocs, M. Coignet pense qu'on pourrait adopter un système analogue à celui suivi pour le port de Douvres, c'est-à-dire partir d'un point où il soit possible d'avoir un sol naturel ou artificiel solide, qui servirait d'appui pour les premiers blocs à immerger, ceux-ci devant servir à leur tour de point d'appui pour l'immersion des suivants, et ainsi de suite ; quant au couronnement de la digue il serait monolithe.

3° L'amélioration du sol et du sous-sol des villes, par la construction d'une masse monolithe, comprise entre les murs de fondation des maisons formant les rues, cette masse étant évidée de manière à ménager : 1° Une rue souterraine, dans laquelle se ferait le service des approvisionnements ; 2° de chaque côté de la rue souterraine un double rang d'égouts de 1m80 de hauteur chacun, l'un supérieur, servant à l'écoulement des eaux de lavage et d'arrosement, l'autre inférieur, servant à l'écoulement des liquides des fosses d'aisance, etc. etc., pouvant servir comme engrais ; 3° enfin latéralement, sous les trottoirs, des galeries destinées au service de ces égouts et de plus dans les épaisseurs des voûtes et des pieds droits de ces sept galeries on pourrait, vu l'imperméabilité, ménager des conduits servant au logement des fils télégraphiques, aux distributions d'eau, de gaz et même d'air comprimé, qu'on emploierait comme force motrice ;

4° La fabrication de pierres factices, qu'il ne serait pas nécessaire de tailler, des pavés aussi durs plus durs même que les pavés en grès (cette fabrication est prête à fonctionner dans l'usine de Saint-Denis) ;

5° La construction, par anneaux successifs, de grandes voûtes analogues à celle de Saint-Pierre de Rome (qui a 33m. de diamètre), sans dépense exagérée de charpente ; la charpente pouvant n'avoir que la résistance nécessaire pour supporter, au moment de la construction, le poids d'un anneau de 1m. de hauteur au plus, les anneaux se supporteraient d'eux-mêmes dès que la prise se serait faite ;

6° L'étaiement des galeries de mines, de manière à supprimer les boisages, toujours couteux (l'essai se fera prochainement à Saint-Etienne) ;

7° Le fonçage et le cuvelage des puits de mines, en employant la trousse coupante ;

8° La construction d'ateliers, de remises, de halles à marchandises dans les gares de chemin de fer, à l'abri de l'incendie, ne coutant pas plus cher que les bâtiments construits actuellement ;

9° La construction des réservoirs. M. Coignet doit en élever un contenant 1,000m ; il informera la Société des résultats obtenus ;

10° Le dallage et le pavage des voies et entrevoies des lignes ferrées, les rails pouvant être maintenus et assujettis par le béton lui-même, sans l'emploi de traverses en bois dont l'établissement et l'entretien sont si coûteux.

M. Coignet, en terminant, appelle l'attention de la Société sur ces divers projets, et demande qu'on veuille bien les discuter.

M. le Président remercie M. Coignet de son intéressante communication et le prie de vouloir bien assister à la prochaine séance pour donner quelques renseignements complémentaires sur les mains-d'œuvres et les prix de revient des divers ouvrages dont il vient d'être question.

MM. Darru, Delaporte, Doublet et Plazolles ont été reçus membres de la Société.

SÉANCE DU 3 FÉVRIER 1860

Présidence de M. Vuigner

M. le Président invite M. Coignet à donner quelques renseignements sur les modes de fabrication et d'emploi des bétons agglomérés, et sur les prix de revient des constructions exécutées jusqu'à ce jour, à Saint-Denis, à Vincennes, etc.

M. Coignet rappelle que, dans sa maison de Saint-Denis, toutes les parties, caves, planchers, toitures en terrasse ou en dôme, etc., sont faites avec du béton économique, composé en volume de 4 parties de cendres de houille, 4 parties de sable, 1 partie de chaux, en pâte de consistance convenable pour l'usage; que le béton employé est fabriqué à l'aide d'un broyeur énergique, et qu'une fois amené à l'état de pâte plastique et ferme il est pilonné par couches de 1 à 2 centimètres entre des moules en planches; que ces moules s'enlèvent au fur et à mesure de leur emplissage pour servir à l'exécution de la partie de la construction immédiatement supérieure à celle qui vient d'être achevée, comme pour les ouvrages en pisé.

Toutes les constructions de Saint-Denis ont été faites ainsi, même les planchers et le dôme qui recouvre la maison.

L'épaisseur du dôme est à la base de 40 centimètres et se réduit à 25 à la partie supérieure, pour une longueur de 14^m. et une largeur de 8.

Les planchers ont 20 à 25^{cm} d'épaisseur environ; ils forment une dalle monolithe, parfaitement liée aux murs tant par l'adhérence du béton que par une série de poutrelles en fer double T, noyées dans l'épaisseur. Ces fers ont 10 centimètres de hauteur et ne pèsent que 10 kilog. par mètre courant; ils sont à la distance de 1^m les uns des autres, et reliés entre eux par des tringles de 15 millimètres de diamètre, qui servent à la fois à maintenir leur écartement et comme tirant.

Pour se rendre compte de la résistance des planchers construits ainsi, M. Coignet en a fait un ayant 22 centimètres d'épaisseur pour une surface de 25 mètres carrés. Ce plancher contenait seulement trois poutrelles, disposées comme il vient d'être dit; il a été chargé avec du sable, à raison de 1800 à 1900 kilogrammes par mètre carré. Sous cette charge, une fente s'est produite dans les angles, et le plancher s'est séparé du mur qui le soutenait, restant suspendu sur les poutrelles comme une dalle monolithe, les fentes se sont fermées d'ailleurs après l'enlèvement du sable.

M. Coignet croit pouvoir affirmer qu'il y a sécurité complète, tant sous le rapport de la résistance, que sous le rapport de la salubrité; l'imperméabilité du béton est parfaite, et depuis plusieurs années il demeure sous une terrasse faite ainsi, sans avoir remarqué aucun inconvénient.

En ce qui concerne les prix, M. Coignet fait observer qu'ils dépendent surtout de la valeur des matières premières qu'il emploie.

En supposant que le sable vaille 2 fr. 50 le mètre cube, la terre cuite, le même prix, et que la chaux éteinte en pâte coûte 8 fr. le mètre cube, 8 ou 10 hectolitres de béton prêt pour l'emploi coûteront 4 fr.; et, comme par le pilonnage le volume se réduit de 1/3 environ, la maçonnerie achevée reviendra (pour matières premières) à 6 fr.; somme à laquelle il faut ajouter la valeur de la main-d'œuvre, préparation des matériaux, transport, pilonnage, frais généraux, faux frais, etc.

La préparation des matériaux est une opération délicate, elle exige du soin; le broyage doit être plus énergique que pour les bétons ordinaires, puisqu'au lieu d'avoir de la chaux en pâte, dont le volume est la 1/2 ou le 1/3 de volume du sable employé, la quantité en est réduite à 1/8, contenant une très-faible quantité d'eau; on peut estimer qu'il coûte le double. Un broyeur mû par un cheval et servi par un ouvrier aidé d'un manœuvre qui fait le dosage des matériaux fabrique journellement le béton nécessaire à l'exécution de 5 mètres cubes de maçonnerie en place; c'est par mètre cube une dépense de 2 fr.

Pour transporter le béton du broyeur au lieu d'emploi, la dépense est la même que pour les transports ordinaires; soit 1 fr. ou 1 fr. 50 par mètre cube.

Quant au pilonnage, il revient à 1 fr. ou 2, suivant le soin avec lequel on fait le travail et le prix de la journée des ouvriers.

C'est donc pour la main-d'œuvre 4 fr. à 5 fr.50; qui, avec les frais généraux, peuvent être portés à 6 fr.

Ce qui fait revenir le prix du mètre cube de béton en place à 10 ou 12 fr. Cette dépense peut d'ailleurs être diminuée par l'emploi des moyens mécaniques pour faire les dosages, et par l'usage d'une machine à vapeur comme force motrice. Mais c'est à la condition aussi, qu'il n'y ait pas un trop grand nombre de moules à établir, comme pour la maison de garde du bois de Vincennes, qui par cette cause est revenue beaucoup plus cher qu'elle n'a été payée. Les ornements qui y ont été faits ont exigé des frais considérables pour les moules, frais qui ne pourraient être couverts que par l'édification d'un certain nombre d'autres maisons sur le même mo-

dèle ; de sorte que cet essai ne peut servir de base d'évaluation comme prix de revient.

A quelques questions posées par M. le Président et par divers membres, M. Coignet répond que le poids moyen du mètre cube de maçonnerie de béton aggloméré varie entre 2,000 et 2,400 kilog., et il explique que lorsqu'il est question pour la compression des bétons tantôt de 1/8 de chaux et tantôt de 1/15, c'est que, dans le premier cas, il parle de chaux éteinte en pâte, et dans le second, de chaux en pierre. M. Coignet fait observer que par l'agglomération, ses bétons, en peu de jours, deviennent aussi durs au moins que les pierres de bonne qualité; et, comme l'ensemble d'une de ses constructions forme un tout, en liaison parfaite, la résistance est plus grande que celle qu'on peut espérer des maçonneries ordinaires ; que par suite les épaisseurs des murs et de toutes les parties peuvent être réduits, ce qui est la source d'une nouvelle économie.

Sur la demande de M. le Président, M. Coignet indique la marche suivie pour l'exécution de l'arc de pont, fait au quai de Billy.

Après l'exécution des culées, des cintres très légers ont été mis en place, ainsi que des panneaux en bois limitant les deux têtes de la voûte. Le pilonnage du béton, fabriqué par le broyeur, a été commencé en partant à la fois des deux extrémités, et en étendant le béton par couches très légèrement inclinées vers le centre de l'arc, de manière que les pilonneurs pussent frapper toujours aussi verticalement que possible. Lorsque les deux masses de béton ont été sur le point de se toucher vers le milieu, l'espace vide resté entre elles a été rempli de béton par petites couches pilonnées à la manière ordinaire ; puis les moules ont été enlevés et la voûte décintrée.

Cette marche a présenté toutefois un petit inconvénient. Les cintres, étant très faibles, ont cédé, sous la charge et le poids de la partie de la voûte construite agissant sur le point où l'arc se relie avec la culée, avant que la prise soit complète; une légère fissure s'est produite près de la naissance, mais elle n'ôte rien à la solidité.

M. Coignet pense que cette fissure aurait été évitée si la voûte eût été construite par série d'arcs concentriques minces, dont les premiers auraient servi de support aux derniers ; la masse de la voûte se soutenant alors d'elle-même, celle-ci ne se serait pas détériorée si peu que ce soit.

Il n'aurait pas fallu d'ailleurs plus de temps pour l'exécution, c'est-à-dire trois jours avec interruption pendant la nuit.

M. le Président prie M. Coignet de faire connaître à la Société le résultat de ses observations relativement à la prise du béton neuf sur le béton de la veille, à la confection des chaussées, et aux effets des agents atmosphériques et chimiques.

M. Coignet rappelle l'expérience qu'il a citée dans la dernière séance sur la liaison d'un bloc de béton avec le rocher sur lequel il a été construit à Saint-Jean-de-Luz ; ce bloc résiste aux flots des marées et aux tempêtes depuis un an ; il ajoute que pour que la liaison ait lieu, il faut que la surface soit bien propre, sans gravier ni poussière, qu'à cette condition les joints

sont aussi résistants que la masse, et que dans les démolitions qu'il avait faites il n'avait jamais trouvé qu'il fût plus facile de produire des ruptures au joint que dans les autres points.

M. Coignet, passant ensuite à la question des chaussées, pense que le moment n'est pas encore venu de s'occuper de remplacer le ballast des voies ferrées par le béton ; mais qu'il s'occupe activement de construire des chaussées auxquelles il donne 18 à 20 centimètres d'épaisseur pour les voies ordinaires sur lesquelles la circulation est assez considérable, et 15 centimètres pour d'autres voies moins passagères.

Dans l'usine de Saint-Denis, les chaussées qu'il a construites ont 12 centimètres d'épaisseur et elles résistent très-bien. Cette résistance est due sans doute au monolithisme et à la répartition parfaite de la charge. Ces chaussées sont très-bonnes comme usage, les chevaux ne glissent pas dessus (plusieurs écuries ont reçu un dallage de ce genre sans qu'il soit arrivé d'accident), et ce qu'il y a de remarquable, c'est qu'au quai de Billy, cette année, alors qu'il faisait du verglas sur le sol environnant le dallage qui y est construit, ce dallage n'en était pas recouvert.

Des dallages ont été faits il y a six ans, alors que les procédés étaient moins perfectionnés ; et lorsque, dans ces derniers temps, M. Coignet a voulu en enlever quelques-uns, les morceaux formaient de larges dalles qu'on pouvait rouler sur des rouleaux comme des pierres de taille.

En ce qui concerne l'effet du temps, des agents atmosphériques, et des substances qui peuvent se trouver en contact avec les bétons, M. Coignet n'a trouvé jusqu'à ce jour aucune détérioration, soit par l'exposition de ses bétons, à l'air, dans l'eau ordinaire (qui incruste les pores comme on l'a vu au quai de Billy), dans l'eau de mer chaude ou froide, dans les dissolutions salines de chlorure et de sulfate de magnésie titrées à 100, 200 et même 300 deg. par mètre cube ; il y a tout lieu de supposer qu'il n'y aura pas non plus détérioration des fosses d'aisance, qui ne contiennent aucune matière aussi nuisible aux mortiers que les sels de magnésie. Quant aux alternances de chaud et de froid, elles ne sont pas sensibles, la base du béton étant le sable, qui n'est pour ainsi dire pas dilatable.

Un membre pense qu'il serait peut-être avantageux de faire de petits cubes de béton aggloméré (de 4 à 5 centimètres de côté), pouvant servir à la confection de chaussées en empierrement et au ballastage des voies en Russie, où l'on cherchait dernièrement à fabriquer des briques de petit modèle destinées à ces usages.

M. Coignet a exécuté des cubes de toutes dimensions, pour des essais de résistance qui doivent être faits officiellement à l'Ecole des ponts-et-chaussées en présence d'une commission nommée pour examiner les procédés et faire un rapport sur la possibilité d'accorder l'autorisation de les employer dans les constructions à Paris ; seulement le mode d'exécution suivi serait trop coûteux dans le but signalé, mais par des moyens mécaniques on arriverait certainement au résultat économique cherché.

M. Coignet s'occupe dans ce moment d'organiser une fabrique de pierres

artificielles, et, lorsqu'elle fonctionnera régulièrement, il s'occupera d'obtenir tous les produits qui pourront lui être demandés.

Dans tous les cas, il conviendrait peut-être d'attendre les résultats des expériences en cours pour la confection des chaussées monolithes.

M. le Président ayant demandé quelle était la nature des matériaux employés à Saint-Jean-de-Luz et à Trouville, M. Coignet dit qu'à Saint-Jean-de-Luz le sable était du sable à gros grains pris sur le rivage, et à Trouville un sable contenant une grande quantité de détritus coquillers, et qu'en chacun de ces points il a été essayé plusieurs espèces de chaux qui ont toutes réussi. Quant à l'eau employée, c'était celle qu'on avait sous la main, même de l'eau de mer ; et cette condition, qui est désavantageuse pour les bétons ordinaires, comme le fait observer un membre de la Société, n'a pas d'inconvénient pour les bétons agglomérés, qui ne peuvent s'exécuter qu'avec fort peu d'eau et dans lesquels par conséquent on ne peut introduire avec l'eau qu'une quantité de sels tout à fait insignifiante ; l'expérience a prononcé d'ailleurs.

M. le Président accepte au nom de la Société l'invitation qui a été faite par M. Coignet d'aller visiter ces travaux, et remet la continuation de la discussion à la séance qui suivra la visite faite par une commission qui sera nommée.

SÉANCE DU 17 FÉVRIER 1860

Présidence de M. Vuigner

L'Ordre du jour appelle une communication de M. Limet sur les machines électro-magnétiques appliquées à la production de la lumière électrique et sur la fabrication industrielle des aimants.

Après avoir rappelé le principe de l'appareil de Clarke pour la production des courants sous l'influence des aimants, M. Limet indique que Nollet, professeur à l'école militaire de Bruxelles, est le premier, qui, en 1852, eut l'idée de construire sur ce principe une puissante machine électro-magnétique pour obtenir *une source d'électricité constante et économique*.

Si l'idée de Nollet était rationelle, l'application qu'il en chercha fut malheureusement mauvaise, théoriquement et pratiquement : il voulut, à l'aide de l'électricité de sa machine, décomposer l'eau et produire du gaz d'éclairage.

Une compagnie fut formée, une usine installée aux Invalides, et il est inutile de dire les résultats négatifs et les déceptions qui suivirent.

Nollet mourut à la peine ; mais, entretemps on n'étudia pas moins tous les éléments du problème et les détails de construction de la machine. Le successeur de Nollet, l'ouvrier qui avait été son collaborateur, M. Joseph Vanmalderen, chercha une application plus rationelle, celle de la production de la lumière électrique, et c'est à lui que revient ce qu'il y a d'original dans cette application.

L'une des machines de M. Vanmalderen vient d'être achetée par l'administration des phares, et fonctionne à l'établissement du quai de Billy.

Elle se compose de six roues isolantes en cuivre, de chacune 16 bobines, montées parallèlement sur le même axe de rotation ; chaque bobine correspondant par les extrémités aux pôles de noms contraires de forts aimants fixes disposés concentriquement, par séries de 8 faisceaux, entre chaque roue ; il y a donc 56 faisceaux d'aimants, en y comprenant les deux séries extérieures.

Chaque bobine est formée d'un tube en fer doux de 5 à 6 millimètres d'épaisseur, $0^m.04$ de diamètre et $0^m.096$ de longueur ; ce tube est fendu dans toute sa longueur, ce qui lui permet de prendre plus rapidement l'aimentation par influence qu'il acquiert dans son passage devant les aimants. Sur ce tube sont enroulés 12 fils en cuivre, isolés, d'un millimètre de diamètre, et de chacun $10^m.50$ de longueur, de sorte que la longueur totale des fils sur la bobine est de 126^m et leur poids de 1 k. 50.

Chaque faisceau d'aimants est composé de six lames en acier trempé, assemblées en fer à cheval, et pèse 23 à 25 k.

La machine faisant 350 tours par minute, chaque bobine reçoit par induction un courant direct et un courant inverse à chaque passage devant un pôle, et donne lieu à $(350 \times 16)\,2 = 11{,}200$ courants alternatifs par minute. On peut, en groupant les bobines, réduire ce nombre de moitié ; mais il reste toujours 5,600 changements de sens dans les courants, soit 155 par seconde. Ces chiffres font bien comprendre : 1° l'importance du groupement des bobines ; 2° les inconvénients qui résultent, comme usure, de l'emploi des commutateurs, avec 11,200 étincelles par minute.

Toutes choses égales, d'ailleurs, l'effet utile de la machine dépend du groupement des bobines pour obtenir, selon les applications, des courants ***en tension*** ou ***en quantité***. En réunissant les fils des bobines de même signe, on fait parcourir aux courants toute la longueur des fils, et l'on obtient la ***tension ;*** au contraire, en recueillant directement les courants de chaque bobine, la longueur parcourue sera réduite à celle de l'enroulement sur chaque bobine, et l'on aura la quantité, en ayant soin d'augmenter la section des fils.

De ce qui précède, on peut conclure, par tâtonnement et expérience, les

rapports de tension et de quantité pour chaque cas particulier, et disposer les différents éléments de la machine en conséquence.

Il restait les difficultés inhérentes aux commutateurs; or, dans la production de la lumière qu'on obtient en mettant en communication les deux charbons d'une lampe spéciale avec les électrodes de la machine, il n'est plus nécessaire de ***redresser*** les courants; de là une simplification remarquable et la suppression des commutateurs.

On recueille une série des courants alternatifs; celle dûe aux pôles positifs des aimants, par exemple, par un simple frotteur en contact avec une roue isolée sur l'axe de la machine; et l'autre série, dûe aux pôles négatifs, sur l'axe même ou en un point quelconque du bâtis; pour fermer le circuit, il suffit de réunir les fils partant, 1° de la roue isolée, 2° de l'axe de la machine.

L'emploi des courants non redressés opère entre les deux charbons de la lampe la recomposition des électricités de signes contraires, de manière que chaque charbon donne alternativement passage aux deux fluides; ces charbons s'usent donc également, le transport du pôle positif au pôle négatif se faisant alternativement d'un charbon sur l'autre; et cela apporte une grande facilité à la construction du régulateur qui doit maintenir un écartement constant entre les charbons.

La machine du quai de Billy a fonctionné sans interruption pendant six semaines et a donné les résultats suivants :

La lumière, mesurée au photomètre, a été égale à celle de 125 becs carcel, chaque bec représentant 8 bougies. La dépense en coke de la locomobile qui imprimait le mouvement à la machine a été de 18 centimes par heure.

La vitesse de la machine étant réglée et constante, la source d'électricité est également constante, et elle paraît soustraite aux causes habituelles d'irrégularité provenant des conditions atmosphériques.

En comparant ce prix de revient à ceux des autres modes d'éclairage, on trouve pour le prix de la lumière équivalant à 350 bougies par heure et sans y comprendre la main d'œuvre

Lumière électrique produite par la machine ci-dessus décrite.	0.063
Gaz de houille, au prix de la ville, de 15 c. le mètre cube. .	0.800
Id. au prix de vente aux particuliers.	1.600
Huile de colza épurée.	3.030
Lumière électrique produite par les piles.	3.000

M. Limet examine ensuite les applications qui doivent être tentées tout d'abord; en raison de l'impossibilité actuelle de la division de la lumière électrique, les applications de même ordre et à peu près d'égale importance qui se présentent les premières sont :

1° L'éclairage des phares; outre l'intensité lumineuse beaucoup plus grande, on pourrait dans plusieurs cas n'avoir qu'une source pour plusieurs foyers lumineux, et obtenir les intermittences ou éclipses avec la plus grande facilité. Aux Invalides, on a pu placer la lampe à 750 m. de la machine et

lui transmettre les courants avec deux fils d'un millimètre de diamètre, sans observer de différence appréciable dans l'intensité lumineuse;

2° L'éclairage des fanaux pour les signaux à bord des navires;

3° L'éclairage des grands chantiers pour des travaux d'urgence, des camps pour les armées, et des travaux de l'ennemi.

Pour toutes ces applications, la source électrique est trouvée aussi puissante que régulière et économique, et, de ce côté le problème semble complétement résolu. Mais, il n'en est pas de même pour l'appareil qui porte les charbons conducteurs et qui doit régler leur écartement. La source d'électricité étant constante, il suffirait, si les charbons étaient homogènes, de les faire rapprocher graduellement au fur et à mesure de leur usure. Malheureusement, le graphite des cornues à gaz, qui donne la plus belle lumière, est inégal de densité, de composition et de conductibilité.

Cependant, M. Jacquelain a déjà obtenu des échantillons de charbon bien supérieur au graphite; beaucoup de constructeurs sont à l'œuvre pour obtenir une lampe simple, sûre et pratique, et M. Limet ne doute pas qu'on arrive à des résultats satisfaisants.

Outre leur application à la production de la lumière, qui est la plus importante, les machines électro-magnétiques peuvent remplacer avantageusement les piles dans tous les cas où l'on a besoin de grandes sources d'électricité, et notamment pour la galvanoplastie. Dans cette application, on dispose la machine pour obtenir des courants en quantité, et chaque roue travaille isolément; on ne fait que 200 tours par minute et il faut redresser les courants. On a obtenu les résultats suivants dans un des établissements les plus importants de Paris :

Prix du kilogramme de cuivre déposé, en ce qui concerne, bien entendu, la dépense des machines et des piles seulement :

1° Par les machines électro-magnétiques; 2 fr.

2° Par les piles. 20 fr.

Abordant ensuite la partie de la communication relative à la fabrication industrielle des aimants, M. Limet résume en ces termes les résultats pratiques auxquels il est arrivé :

1° J'ai obtenu une puissance au moins égale, *peut-être supérieure*, avec des aciers puddlés cémentés très-communs, mais assez homogènes. La comparaison a été faite avec des aciers fins tant corroyés que fondus. — On comprend l'importance de ce résultat par le prix de revient de 1.200 kilog. d'aimants par machine, selon que l'acier coûte 60 fr. ou 150 fr. les 100 kilog.

Mais l'emploi de l'acier commun présente une très-grande difficulté, c'est d'arriver au maximum de dureté dans la trempe, sans déformation ou ruptures.

2° La trempe doit *toujours* faire atteindre le maximum de dureté, qui est loin de correspondre au maximum de chauffage. Il faut donc déterminer par tâtonnement, et selon la nature de l'acier, *la température, aussi bien que le temps du chauffage à cette température*, que devra subir la pièce. J'affirme donc ici, en m'appuyant sur des faits nombreux, que le

changement moléculaire dû à la chaleur est proportionnel à la température, mais que le temps en est fonction non moins importante; en un mot, que l'effet produit est fonction à la fois, ***dans des rapports à déterminer***, de la température et de la quantité de chaleur transmise.

3° La force coercitive des aimants augmentant avec la dureté, le recuit est inutile lorsqu'on dispose de moyens assez énergiques pour aimanter à saturation.

4° Le meilleur mode d'aimantation est à la fois le plus énergique et celui qui agit le plus rapidement et le plus régulièrement. J'ai donc obtenu les meilleurs résultats à l'aide du mode employé pour aimanter les aimants des machines décrites, et qui consiste à soumettre les lames isolément à l'action d'un fort courant traversant en sens contraire les fils de deux bobines de cuivre dans lesquelles on a placé les deux branches de l'aimant.

5° Quant à la forme et aux dimensions les plus convenables à donner aux faisceaux, il me faudrait un plus grand nombre d'essais et d'expériences pour répondre à cette question. — Ce qui résulte de ce qui a été fait, c'est que pour un travail dynamique et permanent, la forme en fer à cheval est adoptée; et que l'épaisseur des lames, égale au 1/5 ou 1/6 de celle du faisceau donne le maximum d'effet.

M. le Président remercie M. Limet, au nom de la Société, pour son intéressante communication.

M. Richoux lit la note suivante sur un nouveau mode de moulage des coussinets de chemin de fer.

Le moulage des coussinets peut se faire de deux manières bien distinctes. Par la première, la chambre destinée à recevoir le rail s'obtient en fixant dans le creux, obtenu au moyen du modèle, un noyau en sable d'étuve. Par la seconde, due à M. Voruz, on obtient la chambre sans emploi de noyau. A cet effet, le modèle a ses joues formées par une ou deux pièces rapportées, de telle sorte que, placé dans le sable, on peut l'en retirer sans entraîner les joues, qui ne sont pas *de dépouille*. Celles-ci s'enlèvent ensuite avec les précautions nécessaires pour de pas altérer le moule. La méthode de Voruz a, sur la première, un avantage important, car elle assure d'une manière parfaite l'inclinaison du rail par rapport à la semelle du coussinet; mais elle exige des modèles assez coûteux, donne lieu ainsi que la première à des frais de main-d'œuvre considérables, et nécessite des mouleurs exercés, dont le travail est fatiguant à cause du poids des châssis à manœuvrer.

La machine imaginée par M. Jobson, dont le brevet est exploité en France par M. Manby, remédie à ces divers inconvénients.

Sur une table rectangulaire en fonte, mobile autour d'un axe horizontal, se trouvent fixés deux coussinets ordinaires, dont les joues peuvent se déplacer ainsi que dans les modèles de M. Voruz, mais avec cette différence que les parties mobiles, au lieu de se détacher complétement du modèle, se trouvent prises entre des glissières et traversent la semelle du coussinet et la table pour venir se relier à deux bielles réunies elles-mêmes par un écrou mobile courant sur une vis terminée par un volant à manivelle.

La manivelle en tournant peut donc faire rentrer les joues du coussinet sous la table, ou bien les ramener dans leur position normale.

Les choses étant en ce dernier état, on fixe sur la table, au-dessus des deux modèles et au moyen de taquets, un châssis rectangulaire dans lequel on tasse le sable. Celui-ci est arrasé à la main, puis, avec une tôle découpée à jour, glissant entre deux rainures du châssis, qu'elle vient fermer comme le ferait un fond.

On fait alors basculer la table autour de son axe, et à l'aide d'un levier on apporte sous le fond du châssis un plateau mobile, équilibré par un contre-poids. On fait mouvoir le volant à manivelle pour retirer du sable les joues mobiles, puis on détourne les taquets qui fixent le châssis à la table et on laisse descendre le plateau mobile qui emporte tout le moule. Celui-ci glisse sur un petit chemin de fer incliné et s'arrête devant la poche contenant la fonte en fusion; cette poche est équilibrée par un contrepoids et peut basculer en se mouvant autour d'un axe horizontal inférieur, lorsque l'ouvrier appuie sur un levier convenablement disposé.

La partie supérieure du moule, celle qui doit produire les évidements de la semelle du coussinet, se fait sur une table à part; le châssis s'y repère au moyen de goujons, et le sable s'y moule à la manière ordinaire.

La machine de M. Jobson peut s'appliquer au moulage d'un grand nombre d'objets légers, à la poterie, et principalement aux pièces qui exigent des noyaux, tels que boulets, obus, projectiles cylindro-coniques pour canons rayés; elle présente les avantages suivants :

Le moulage se fait parfaitement ; il évite l'emploi des noyaux, qu'il est souvent difficile de placer avec la précision nécessaire, et surtout de maintenir en place lors du tassement des sables; il diminue la fatigue des ouvriers, qui n'ont plus à remuer qu'un poids de châssis moitié moindre que dans les procédés de moulage ordinaires. Enfin il permet de réduire le nombre des ouvriers nécessaires pour un travail donné. Trois ouvriers dont deux aides suffisent pour desservir la machine à mouler, trois ouvriers sont également nécessaires pour prendre la fonte au cubilot et la couler dans les moules. Avec ce personnel, on peut obtenir facilement 60 coussinets par heure, soit 7 à 800 pièces par jour ; les inventeurs assurent même qu'on peut en obtenir de 1,100 à 1,500, mais nous croyons ce chiffre exagéré. Dans les méthodes ordinaires de moulage, un homme et son aide font environ 150 coussinets par jour : il faudrait donc 11 hommes pour faire le travail que la machine produit avec 3 hommes. Le remplissage des 800 moules exigerait 8 hommes, tandis qu'avec la poche mobile le travail s'accomplit avec 3 ouvriers.

MM. Chancerel, Longraire et Rogé, ont été reçus membres de la Société.

M. Brull présente quelques observations théoriques sur la note de M. Ernel relative à l'appareil alimentaire de M. Giffard. — Ce travail, ne pouvant être analysé, sera imprimé et distribué comme annexe au procès-verbal, ainsi qu'on la fait pour la note de M. Ernel, et sous les mêmes réserves : toute discussion étant ajournée à l'une des prochaines séances.

SÉANCE DU 2 MARS 1860

Présidence de M. LAURENS, vice-président

M. le Président annonce que, M. Barthélemy ne pouvant se rendre au sein de la Société, la lecture et la discussion de sa note sur la construction des salles de théâtre sera ajournée et reportée à l'ordre du jour d'une séance prochaine.

M. le secrétaire donne lecture d'une note de M. Laurent-Lambert, membre de la Société, relative à la distribution d'eau de Paris.

L'auteur ne partage pas l'avis des personnes qui trouvent exagérée la quantité d'eau que M. le préfet de la Seine veut amener à Paris ; il pense que cette quantité devrait être plus considérable encore et qu'au lieu d'ajouter seulement 100 mille mètres cubes aux 128 milles que la ville reçoit chaque jour il en faudrait 150 mille, pour pourvoir également bien dans tous les quartiers aux besoins de l'industrie, de l'hygiène et de la salubrité.

M. Laurent-Lambert passe rapidement en revue les divers projets qui ont été présentés; d'abord, celui de M. le préfet de la Seine, qui, par un immense aquéduc va chercher dans la couche aquifère de la Champagne l'eau nécessaire à l'alimentation de Paris ; l'auteur critique le plan proposé pour l'exécution des travaux ; il voudrait qu'avant de construire l'aquéduc collecteur on fit d'abord les travaux de recherche, les drainages. L'épaisseur des parois de l'aquéduc projeté sont trop faibles, selon lui elles devraient être augmentées de manière à leur donner une très-grande solidité ; et encore lui semble-t-il impossible que, sur une longeur de 41 kilomètres, il n'y ait pas continuellement des réparations à faire exigeant une interruption plus ou moins longue du service dans l'unique conduite; il croit qu'il serait préférable d'avoir comme à Rome plusieurs aquéducs pouvant suppléer les uns aux autres, et qu'il faudrait rechercher dans les environs de Paris plusieurs sources à des altitudes différentes, en tenant compte du niveau des quartiers à desservir.

Mais la dépense pour l'exécution de ce projet serait considérable, et l'auteur est amené à examiner le projet qui consisterait à prendre les eaux, soit dans la Seine en amont de Paris, soit tout autour de la ville dans les alluvions de la vallée de la Seine.

Les eaux prises à Ivry bien que d'une pureté assez grande auraient l'inconvénient de n'être pas tout à fait fraîches en été, quoique leur tempéra-

ture doive nécessairement s'abaisser en parcourant les tubes de distribution; quant aux eaux prises dans les alluvions, elles seraient sulfatées et tout à fait impropres aux usages domestiques.

M. Laurent-Lambert ajoute :

« Mais indépendamment de ces divers cours d'eau, il en existe un « autre dont on ne parle pas. Pourtant l'on sait que toutes les rivières ont « exhaussé leur lit plus ou moins, et qu'il existe dans toute la vallée un « cours d'eau souterrain, qui le plus souvent se trouve au-dessous du cours « apparent. Dans le fleuve souterrain l'eau est bien filtrée et se maintient à « une température constante; c'est donc dans ce fleuve, sur un ou plusieurs « points situés en amont de Paris que l'on trouverait la meilleure eau qu'on « puisse désirer, et rien ne serait plus facile que de la puiser sans grande « dépense, en se servant des tubes ou des caissons à air comprimé, in- « ventés par M. Triger, et employés en différents endroits pour sonder en « rivière à de grande profondeurs, notamment dans les galets du Rhin, par « M. Vuigner pour le pont de Kehl. Les caissons employés par M. Vui- « gner descendent à 20 mètres au-dessous de l'étiage du Rhin; ceux des « culées ont 7^m 00 de longueur sur 5^m 80 de largeur; ils pourraient donc « servir de galeries d'infiltration remplaçant celles que M. Fournet a fait « construire en maçonnerie pour le Rhône souterrain à Lyon. On pourrait « descendre dans les alluvions de la Seine des tubes ou des caissons sem- « blables à la profondeur d'environ 5^m 00; car il paraît d'après les puits « creusés par M. Degousée à l'Ecole d'Alfort et à Ivry que les alluvions de « la Seine ont dans cette contrée une épaisseur variable de 3 à 7 mètres « au-dessous de son lit actuel. L'eau de la Seine serait donc obligée de tra- « verser une couche de sable et de gravier d'environ 5^m pour entrer dans « les tubes de prise d'eau par leur partie inférieure. Dans les saisons trop « froides ou trop chaudes on ne lui permettrait pas de monter dans les tubes « plus haut que les alluvions, afin que sa température ne soit pas influencée « par celle du fleuve supérieur; mais dans les temps ordinaires on la laisserait « se niveler avec la surface de ce fleuve, ce qui pourrait avoir lieu plus de « 8 mois sur 12 et l'on aurait à élever l'eau en partant de 2 ou 3 mètres « moins bas.

« L'on pourrait donc avoir recours à différents systèmes pour procurer « de l'eau à la ville de Paris : les aquéducs amèneraient des sources de « diverses hauteurs pour desservir principalement les quartiers élevés, et « les machines à vapeur puiseraient l'eau à l'intérieur des tubes placés en « amont de Paris dans les graviers du fleuve souterrain, pour desservir toute « la partie basse de la ville bâtie dans la vallée de la Seine, où se trouve « les 2/3 de la population. Mais il vaut mieux laisser de côté le système « des aquéducs comme trop coûteux pour Paris, attendu qu'il n'est pas « possible, comme à Rome, de trouver à de petites distances des sources « suffisantes ; l'on n'aurait besoin pour la partie basse que d'élever l'eau à « une hauteur maximum de 30 m. : car le pied des côteaux n'est pas à une « hauteur de plus de 10 m. au-dessus du fond du fleuve et les maisons « n'ont pas plus de 20 m. de hauteur. »

M. Laurent-Lambert examine ensuite la dépense à faire pour la réalisation de ce projet, il calcule qu'il faut :

Une force de 2,800 chevaux, coûtant.	2,800,000 fr.
Bâtiments, prise d'eau, tuyaux de refoulement. . .	5,500,000
Intérêt du capital, amortissement.	695,000
Capital nécessaire pour pourvoir aux frais d'entretien, fourniture de charbon, payement du personnel. . .	16,000,000
Indemnité de terrain et cas imprévus.	5,005,000
Réservoirs (suivant le devis de M. le Préfet). . .	15,000,000
Galeries d'égout.	12,000,000
Total.	57,000,000

dont l'intérêt annuel est de 2,850,000 fr. ou par jour 7,808 fr. pour 150,000 mètres cubes; soit par mètre cube 0 fr. 0525. A ce prix toutefois doit être ajouté celui qui résultera des dépenses ultérieures, qui d'après M. le Préfet reviendront à 20,400,000 fr, en se servant des conduites actuelles, et qui suivant l'auteur doivent être doublées si l'on veut faire profiter les communes suburbaines des avantages accordés à Paris, et néanmoins l'eau pourrait être payée ***dix fois moins cher qu'on ne la paye aujourd'hui*** tout en laissant de larges bénéfices aux concessionnaires.

M. Laurent-Lambert termine sa note ainsi :

« Un des grands avantages du projet qui consiste à recourir au fleuve « souterrain, c'est que pour en profiter il n'est pas nécessaire de le terminer « tout entier, il peut être agrandi successivement au fur et à mesure des « ressources et des besoins; il n'en est pas de même du grand aquéduc qui « ne donnera pas une goutte d'eau avant d'être terminé. Ainsi, au lieu « d'avoir de suite des machines représentant une force de 2,800 chevaux, « des usines, des colonnes de refoulement, des bassins en rapport avec « cette force, l'on pourrait, pour commencer, se contenter d'en créer une « partie. L'on pourrait n'exécuter d'abord que les 2/3 du projet, parce « que les 150,000 mètres cubes d'eau par jour ne sont pas immédiatement « nécessaires.

« Puis il faut considérer qu'il entre dans notre estimation de 57 millions « une somme de 16,695,000 fr. qui n'est que le capital des dépenses an- « nuelles; que l'on ne payera pas ce capital, et que la somme à payer même « pour exécuter ce projet en entier n'est que de 40 millions, tandis que, « suivant le projet d'aquéduc pour une moindre quantité d'eau, la somme « à payer est de 48 millions, en supposant que l'estimation (de M. le Pré- « fet) soit assez élevée, ce que beaucoup de personnes contestent et nous « aussi. En résumé comme il est facile, au moyen de la sonde, de recon- « naître à peu de frais le fleuve souterrain, nous pensons qu'il convient de « faire à ce sujet des études sérieuses pour le projet des fontaines de Paris « en essayant sur plusieurs points en amont du pont d'Ivry. »

M. le Président partage l'avis de l'auteur de la note sur les avantages qu'il y aurait à avoir recours à plusieurs sources pour un bas service; quant aux eaux de l'Yonne, qu'on a proposé d'amener à Paris, il ne croit pas

qu'elles conviennent parfaitement, parce qu'elles sont sujettes à se troubler.

Il signale à l'attention de la Société le travail de M. Dugué, ingénieur de la Marne, sur les eaux de la Somme-Soude, mémoire qui complète ce qui a été dit sur le sujet jusqu'à ce jour.

M. Faure a reçu le mémoire de M. Dugué, qui est fort intéressant; et il promet d'en donner l'analyse à la Société dans une séance prochaine.

M. Richoux donne ensuite communication de la Note suivante sur le filetage à chaud des vis à bois.

MM. Vankalck et Dervaux, fabricants de vis à bois dites *tirefonds*, ont présenté récemment dans les compagnies de chemins de fer des specimens de vis filetées à chaud, par des procédés encore tenus secrets. Il nous a paru intéressant de faire connaître à la Société une machine destinée à cette fabrication, contruite par MM. Cornick, et qui fonctionne en Écosse et à Birmingham depuis 1853.

Cette machine est une sorte de petit laminoir à trois cylindres, travaillant par bout. Deux de ces cylindres ont leurs axes dans le même plan horizontal, l'axe du troisième cylindre forme avec les deux autres les arêtes d'un prisme triangulaire.

Les extrémités travailleuses des cylindres portent chacune une matrice en acier fondu, ayant la forme de la vis à fileter, mais un diamètre au moins trois fois plus grand. Les autres extrémités portent des pignons, qui engrènent à l'intérieur d'un plateau denté, mis en mouvement par une transmission à poulies, qui peut donner aux laminoirs des vitesses de direction opposée ou produire le désembrayage.

Par suite de ces dispositions, lorsqu'on introduit un fer rond chauffé au rouge entre les cylindres lamineurs et qu'on embraye, les matrices s'impriment dans le fer et le font avancer en tournant, puis le rejetent sur la table de travail lorsqu'on inverse le mouvement.

Examinons maintenant les détails de construction de la machine.

Les cylindres lamineurs sont portés par deux bâtis. Le bâtis voisin des matrices taraudeuses porte deux coussinets formant chacun l'une des bases d'un piston, dont la seconde base butte contre une vis de pression qui permet de rapprocher ou d'écarter les deux cylindres inférieurs. Quant au troisième cylindre, il est porté par un collier pouvant se mouvoir entre deux glissières du bâtis, à l'aide d'une vis mobile dans un écrou placé entre ces mêmes glissières.

Au-dessus de cet écrou, et dans un cadre qui en dépend, se trouve un excentrique, qu'on peut manœuvrer à la main au moyen d'un levier, de manière à soulever ou à abaisser à la fois la vis, son collier et le laminoir supérieur, soit pour donner passage au fer à tarauder, soit pour le mettre en prise avec les matrices.

Les coussinets placés dans le bâtis voisin des pignons ont une forme sphérique destinée à embrasser un renflement de même forme constituant le tourbillon des cylindres lamineurs. Cette disposition a pour but de permettre le mouvement de bascule des laminoirs lorsqu'on veut éloigner ou rapprocher les matrices.

Les trois coussinets, au lieu d'être placés directement dans le bâtis, comme les coussinets voisins des matrices, sont reçus par un plateau circulaire, auquel on peut donner un certain mouvement angulaire, par suite duquel les cylindres lamineurs paraissent se tordre les uns sur les autres. Ce plateau, nommé plateau diviseur, doit être fixé au bâtis, dans une position spéciale pour chaque pas et pour chaque diamètre de vis. On détermine sa position en appliquant une vis directrice, du pas et du diamètre voulu, entre les matrices, et en la tournant jusqu'à ce que cette vis soit dans l'axe de la machine. L'arbre portant le plateau denté qui conduit les laminoirs est muni d'une roue d'engrenage en prise avec un pignon droit fixé sur un arbre creux. Cet arbre porte deux poulies folles, présentant l'aspect d'une boîte munie de son couvercle. A l'intérieur de cette sorte de boîte, se trouve une troisième poulie, dont la jante, formée par deux troncs de cône opposés par leur base, peut venir emboîter l'une ou l'autre des poulies folles.

La poulie intérieure est fixée sur l'arbre creux par une clavette, entrant dans une mortaise qui est assez longue pour permettre le déplacement de la poulie, suivant l'axe de l'arbre, de manière à lui permettre de venir embrasser l'une ou l'autre des poulies folles.

L'arbre creux enveloppe un second arbre, sur lequel la poulie intérieure est fixée d'une manière invariable par la même clavette, qui l'empêche de tourner sur l'arbre creux tout en lui permettant un mouvement de va et vient.

Ce dernier mouvement est communiqué à l'arbre intérieur par un levier qui prend son point d'appui sur le bâtis, et se recourbe en se terminant par une pédale que l'ouvrier peut faire manœuvrer.

Le levier à pédale tend à être soulevé par un ressort à boudin, mais il est maintenu dans une position déterminée par un levier à deux encoches formant cliquet d'arrêt.

Ce levier est dans un plan perpendiculaire au premier, et rappelé par un ressort à boudin.

Lorsque le levier à pédale est au premier cran, la poulie intérieure occupe la position centrale, et la machine est au repos; lorsque l'ouvrier appuie sur la pédale, le levier passe au second cran et la poulie embraye l'une des poulies fixes et fait avancer le fer entre les matrices.

Lorsque le levier à pédale est dégagé des deux crans, il se trouve relevé par son ressort, et la poulie fixe embraye avec la seconde poulie folle, renverse le mouvement des matrices, qui repoussent la vis toute fabriquée.

Le fer qui doit servir à la fabrication des tirefonds est porté au rouge, et les matrices sont constamment refroidies, pendant le filetage, par un courant d'eau froide.

La machine construite par MM. Carnick a donné des vis de 6 à 18 millimètres de diamètre. Le diamètre inférieur paraît être un minimum; l'autre serait facilement dépassé.

Les matrices font ordinairement 180 tours par minute, et, comme leur

diamètre est au moins triple de celui des boulons, ceux-ci font environ 540 révolutions dans le même temps. En pratique, une seule machine peut faire de 2,000 à 6,000 pièces par jour, suivant la longueur de la partie filetée, c'est-à-dire quatre à cinq fois le travail des machines ordinaires opérant à froid.

Les avantages de cette machine peuvent se résumer comme suit :

Les vis et boulons obtenus à la machine sont beaucoup plus résistants que ceux obtenus à la filière ;

Le déchet du fer pendant le filetage, qui s'élève à près de 15 0/0 pour les vis à bois, est complètement supprimé ;

Le nombre d'ouvriers nécessaires pour une même production est beaucoup moindre ;

Une partie des frais de graissage est supprimée ;

Les filets résistent beaucoup mieux à la rouille que les filets obtenus à la filière ou au coussinet ;

Enfin, par ces diverses causes, le prix de fabrication est considérablement réduit.

Cette même disposition de machine peut s'appliquer à l'impression en relief d'ornements sur fer ou sur tout autre métal ; et cette application est non moins importante que la première, bien qu'elle n'ait pas encore été réalisée en France.

M. Faure sait que MM. Dervaux fabriquent également des boulons à chaud ; mais il ne connaît pas le dispositif de la machine employée, il croit que cette machine a quelque analogie avec celle employée pour tourner les pièces hélicoïdales pour la fabrication des meubles.

MM. Jequier, Jarry, Hallopeau, de Gingins et Rouart, ont été reçus membres de la Société.

SÉANCE DU 16 MARS 1860

Présidence de M. Vuigner

L'ordre du jour appelle la discussion sur l'injecteur automoteur de M. Giffard. La parole est donnée à M. Ermel pour répondre aux observations de M. Brüll sur sa note lue dans la séance du 2 décembre dernier, ayant pour titre : *Observations théoriques et pratiques sur l'injecteur automoteur de M. Giffard.*

M. Ermel s'exprime ainsi : D'après mon travail, qui n'avait pas la prétention d'être une théorie complète, mais simplement un essai pour soumettre

a priori l'injecteur au calcul, j'ai été conduit à trouver cet alimentateur beaucoup plus dispendieux que ne l'indiquent les résultats d'expériences auxquelles j'ai assisté depuis.

Je vous demande donc la permission de vous indiquer les causes de la divergence qui existe entre mes calculs et les résultats obtenus par ces expériences; ces causes n'étant pas, d'après moi, celles mentionnées par M. Brüll dans sa note.

J'ai divisé, pour poser mes formules, la marche de l'appareil en deux phases; dans la première, la vapeur sortant de la buse se trouve au contact de l'eau contenue dans la tuyère; cette eau étant sensiblement au repos, il en résulte une espèce de choc, qui absorbe une grande partie de la puissance vive de la vapeur. Ce choc, qui à la mise en train de l'appareil est bien celui que j'ai supposé, doit être moindre pendant la marche par suite de la vitesse que prend l'eau dans son passage autour de la buse. Or cette vitesse, que prend l'eau autour de la buse, dépend de la section annulaire et du volume appelé; cette vitesse ne peut être calculée que pratiquement, car elle varie chaque fois que l'on change la position de la buse par rapport à la tuyère. C'est dans l'impossibilité d'avoir cette vitesse, que j'ai été amené à la supposer nulle en posant la première équation de ma note. M. Combes, dans son mémoire à la Société d'encouragement sur cet injecteur, a été conduit à faire la même hypothèse.

L'équation de la quantité de mouvement, qui s'applique à la deuxième phase de la marche, a été de même posée pour le commencement de la marche de l'appareil.

Ces deux équations, d'où partent tous mes calculs, se trouvent inexactes lorsque l'eau a pris son cours dans l'alimentateur, principalement à cause de la forme des cônes employés, qui amortissent pour ainsi dire les chocs qui auraient lieu sans cela. Il en résulte que l'appareil est bien meilleur pendant sa marche qu'au moment de sa mise en train. C'est d'après ces idées, émises en partie par M. Faure lors de la lecture de ma note, que je me suis décidé à chercher de nouvelles formules, concordant mieux avec les résultats pratiques obtenus par l'injecteur de M. Giffard. Les nouveaux nombres que j'obtins ainsi furent très-sensiblement doubles de mes premiers, mais ils ne sont pas encore exacts, puisque la vitesse V de la vapeur doit être calculée, d'après les uns, en supposant la non-détente de la vapeur avant sa sortie de la tuyère et d'après les autres, en supposant que la vapeur se détend à une pression intermédiaire entre la pression intérieure et la pression extérieure.

J'étais sur le point de faire part à la Société de ce nouveau travail, lorsque M. Brüll présenta sa note, dans laquelle il croit devoir calculer la vitesse V de la vapeur par la formule logarithmique, en admettant la détente presque complète de la vapeur. Il résulte nécessairement de cette hypothèse, que la vitesse de sortie de la vapeur est plus grande que celle que j'ai admise, et par suite que mes résultats sont trop faibles. Mais la supposition de la détente de la vapeur, avant sa sortie de la buse, est contraire aux idées des ingénieurs et des savants qui se sont occupés de l'écoule-

ment des gaz et des vapeurs, et qui sont arrivés à admettre que l'écoulement a lieu comme pour un liquide, en supposant le gaz incompressible. Il suffit pour cela de se reporter aux mémoires de MM. Saint-Venant et Ventzel, ainsi qu'au mémoire de M. Poncelet, présenté le 21 juillet 1845 à l'Académie, sur les expériences de M. Pecqueur, pour voir que la formule logarithmique de Navier est inadmissible. On serait de plus tenté de croire, d'après ces mémoires, que la vitesse de sortie de la vapeur est, par suite du coefficient de contraction, plus faible que la vitesse théorique que j'ai prise, ce qui conduirait nécessairement à des quantités d'eau entraînée moindres que celles de ma note.

M. Brüll, dans sa note, prétend devoir remplacer, dans la formule finale donnant U, la vitesse V par sa moitié. Il y a en effet dans mes formules un facteur 1/2 oublié; mais cette omission n'a d'influence que sur un terme, et non pas sur tous les termes contenant V, comme l'admet M. Brüll; de sorte qu'en rétablissant ce facteur dans le seul terme où il doit exister, on trouve des résultats peu différents de ceux que j'ai obtenus. Ce n'est donc pas des deux modifications à mes formules indiquées par M. Brüll que provient la grande différence qui existe entre mes calculs et les résultats pratiques. Aussi la seule cause de cette divergence d'après moi est l'inexactitude des équations lorsque l'appareil est en marche.

D'après ce qui précède, on comprend que la théorie de cet injecteur est très-compliquée : car d'un autre côté il serait nécessaire de tenir compte des frottements, qui, pour une théorie exacte, ne pourraient être négligés comme je l'ai fait : il suffit de se rappeler, pour comprendre l'influence des frottements, que la vitesse de la vapeur dépasse 500^m ou 600^m, et que celle de l'eau atteint 20^m, 30^m, et même plus dans certaines parties de l'appareil. Aussi en attendant la théorie de l'inventeur, qui s'appuiera probablement sur un grand nombre d'expériences, je vais vous soumettre les résultats d'une expérience à laquelle nous avons assisté, M. Brüll et moi, dans les ateliers de M. Flaud.

L'injecteur sur lequel l'expérience a été faite est celui qui est placé sur la chaudière faisant marcher l'atelier. En avant du clapet d'arrêt se trouvent d'un côté un manomètre et de l'autre côté un robinet ; ce dernier sert à l'écoulement de l'eau, en maintenant dans l'appareil une pression égale à celle de la chaudière quand l'appareil marche à blanc. Il résulte de cette disposition que l'injecteur peut fonctionner dans des circonstances semblables, soit en recueillant son eau, soit en alimentant la chaudière. La force élastique de la vapeur dans la chaudière et la pression dans l'alimentateur ont été maintenues à 5 atmosphères pendant tout le temps de l'expérience. Par le robinet d'arrêt placé sur le tuyau alimentaire, on a interrompu toute communication entre l'appareil et la chaudière.

Ceci posé, on comprend que, l'eau destinée à être aspirée étant dans un bassin A que l'on peut peser au commencement et à la fin de l'essai, on aura le poids de l'eau aspirée. De même en pesant, au commencement et à la fin de l'essai, le bassin B, destiné à recevoir l'eau et la vapeur condensée passant dans l'injecteur, on obtient le poids de l'eau aspirée augmenté du

poids de la vapeur dépensée par l'appareil ; et comme on connaît le poids de l'eau aspirée dans le bassin A, on en conclut le poids de la vapeur dépensée pour produire l'injection dans des circonstances tout-à-fait identiques à celles qui ont lieu lorsque l'alimentation se fait directement dans la chaudière.

Voici les nombres trouvés :

Poids du bassin d'aspiration A au commencement de l'expérience	115 k. »
Id. id. à la fin id. . . .	32.6
Eau aspirée.	82.4
Poids du bassin B recevant l'eau et la vapeur condensée au commencement de l'expérience.	20 »
Id. id. à la fin id. . . .	108.5
Poids de l'eau et de la vapeur condensée, injectées. . . .	88.6
D'où, poids de la vapeur employée.	6.1
Enfin, poids d'eau aspirée par kilo. de vapeur condensée $\frac{82.4}{6.1}$ =	13.5

D'après la sensibilité des deux bascules employées, on peut admettre que chaque pesée est exacte à $0^k.1$ près; et, en supposant que les quatre pesées aient été favorables à l'appareil, c'est-à-dire qu'elles donnent un poids de vapeur dépensée trop faible de quatre fois l'erreur ou $0^k.4$, le poids de vapeur dépensée serait $6^k.5$. Le poids de l'eau aspirée par kilo. de vapeur serait dans ce cas $\frac{82.2}{6.5} = 12^k.65$.

Ainsi il est évident pour moi, d'après cette expérience, que 1 kil. de vapeur à 5 atmosphères, passant dans l'injecteur, a entraîné un poids d'eau compris entre 12.65 et $14^k.5$, soit environ 13.5, qui est le nombre trouvé par les pesées en les supposant exactes.

Dépense de l'injecteur en calories. Au moyen de thermomètres on a trouvé :

Température de l'eau aspirée.	22°.5
Id. id. injectée.	64° »

Excès de température donnée à l'eau dans son passage dans l'injecteur 41°.5.

D'où chaleur trouvée dans l'eau injectée 82.4 × 41.55 = 3,424 calories.

Or, d'après M. Regnault, un kil. de vapeur à 5 atmosphères, dont la température est 152°, contient 653 calories, donc :

Chaleur confiée à l'appareil	(653 — 64) 6.1 = 3,593	calories
Chaleur perdue ou anéantie	3,593 — 3,424 = 169	id.

Or, si on admet avec M. Brüll, ce qui peut être contesté, que la vapeur se détend dans la buse avant sa sortie en restant à la température de 152°, il en résulte nécessairement que cette vapeur prend à celle voisine non détendue (152—120)0.5 = 16 calories par kilogramme, pour rester à 152°, et franchir l'orifice de la tuyère avec une température de 152°. A la perte de 169 calories, trouvée expérimentalement, il faut donc ajouter

la chaleur communiquée à la vapeur pendant sa détente dans la tuyère, ou $16 \times 6.1 = 97$ calories. On pourra donc admettre, dans le cas présent que la perte de chaleur est d'environ $169 + 97 = 266$ calories, sur $3{,}593 + 97 = 3{,}690$ calories confiées à l'appareil.

Le travail utile développé est $88.5 \times 10.33 \times 5 = 4{,}571^{km}$. Or, pour effectuer ce travail on dépense 266 calories, qui représentent, si on admet 420 pour l'équivalent mécanique de la chaleur, $266 \times 420 = 1{,}117.20^{km}$. Le coefficient d'utilisation de la chaleur dans l'injecteur est $\frac{457.1}{1{,}117.20} = 0.041$; c'est-à-dire que pour 100 calories disparues on a un travail recueilli correspondant à 4 calories.

Comparons cet appareil à une assez bonne machine à vapeur brûlant 2^k de houille par heure et par force de cheval. Or, 2^k de houille donnent $7{,}500 \times 2 = 15{,}000$ calories, qui représentent $\frac{15{,}000 \times 420}{1{,}000} = 6{,}300$ dynamies. D'un autre côté, le travail de 1 cheval vapeur pendant une heure est 270 dynamies; on en conclut que le coefficient d'utilisation de la chaleur dans la machine ci-dessus est $\frac{270}{6{,}300} = 0.043$.

Il résulte de ce qui précède, que l'injecteur de M. Giffard utilise sensiblement aussi bien la chaleur qu'une machine à vapeur brûlant 2^k de houille par cheval et par heure.

On se rend compte de la disparition des 266 calories pendant la marche de l'injecteur, en admettant que cette chaleur représente, non-seulement celle correspondant au travail de l'entrée de l'eau dans la chaudière, mais encore celle absorbée pendant la dilatation dans la buse. Le travail provenant de la dilatation dans la buse de 5 atmosphères à 2 atmosphères est environ les 0,86 du travail à pleine pression à 5 atmosphères, ou

$$0{,}86 \times 20{,}000 \times 6.1 = 115{,}000 \text{ kilogrammètres environ,}$$

qui représentent $\frac{115{,}000}{420} = 250$ calories; à ces calories il faut ajouter les 11 calories qui représentent le travail d'entrée de l'eau dans la chaudière, ce qui fait 261 calories, nombre s'approchant beaucoup des 266 calories perdues.

Comparaison de l'injecteur avec une pompe alimentaire. Nous avons trouvé plus haut que l'injecteur dissipe 266 calories sur 3,690 qu'on lui a confiées; c'est donc les $\frac{266}{3{,}960} = 0.074$ de la chaleur confiée que l'on perd. Or, la chaleur passant dans l'alimentateur est environ $\frac{1}{13}$ de la chaleur totale donnée à la chaudière; l'injecteur dissipe donc $\frac{13}{0.074} = 0.0057$ de la chaleur totale donnée à la chaudière, autrement dit l'appareil retire pour sa marche 0.0057 du travail total de la machine. Admettons que la machine exige 15^k de vapeur par force de cheval et par heure; ces 15^k de vapeur étant produits par 2^k de houille. Le travail résistant par 1″, pour l'entrée de cette eau dans la chaudière à 5 atmosphères, est

$$\frac{15}{3,600} \times 10.33 \times 5 = 0^k.215; \text{ d'où } \frac{0.215}{75} = 0.00287$$

est la fraction de la force totale prise pour l'entrée de l'eau dans la chaudière. Si la pompe alimentaire rendait 100 pour 100 en travail, elle serait environ deux fois meilleure à employer que l'injecteur de M. Giffard. Or, une bonne pompe alimentaire bien entretenue, allant doucement, peut bien donner 50 °/₀ de rendement en travail ; il en résulte que l'injecteur de M. Giffard est à peu près équivalent aux bonnes pompes alimentaires bien entretenues.

Avant de terminer cette note, je vais considérer successivement l'injecteur de M. Giffard, appliqué aux machines sans condensation et aux machines à condensation, en laissant complétement de côté la théorie, qui peut être sujette à discussion.

Généralement, dans l'emploi d'une machine sans condensation bien entendue, on se sert de la vapeur perdue qui sort du cylindre pour réchauffer l'eau d'alimentation ; c'est ainsi que dans nombre d'usines, et en particulier dans les raffineries, on alimente les chaudières avec de l'eau à 80°, 90° et même 100°. Pour ces machines, l'appareil de M. Giffard me semble défectueux : car, puisque gratuitement on peut échauffer l'eau d'alimentation à 90° au moins, il n'est pas nécessaire de remplacer la pompe alimentaire par un appareil, qui, pour son fonctionnement, exige dans ce cas environ $\frac{1}{13}$ ou 0.077 de la vapeur totale produite par la chaudière, l'eau entrant alors aussi à la température de 90°. Le bénéfice, dans ce cas, en faveur de la pompe, est de 0.077 du combustible brûlé sur la grille, moins le combustible correspondant au travail pris par la pompe ; soit les 0.02 de la force totale absorbée par la pompe, le bénéfice net est 0.057 du combustible total brûlé sur lagrille. Ce bénéfice en faveur de la pompe peut augmenter si l'appareil n'entraîne pas 13^k d'eau par kilo. de vapeur.

Ce résultat doit être pris en considération, non-seulement pour le bénéfice du combustible, mais aussi parce que, dans l'emploi de l'injecteur, les chaudières doivent être plus fortes d'au moins 0.05 à 0.06 de la force exigée par la machine. Cette remarque a un grand intérêt pour l'établissement de l'injecteur sur les chaudières déjà existantes : en effet, supposons une machine ayant une chaudière juste de la force que l'on exige de cette machine ; si on vient à remplacer la pompe alimentaire par un injecteur de M. Giffard, la chaudière se trouvera trop faible, et la tension de la vapeur baissera si on ne diminue pas le travail de la machine. Ce fait se présente dans plusieurs usines.

D'après ce qui précède, l'emploi de l'injecteur de M. Giffard entraîne nécessairement avec lui une perte de 5 à 6 pour 0/0 du combustible, toutes les fois qu'on peut réchauffer l'eau d'alimentation avec la vapeur de l'échappement. Ce réchauffage est toujours possible, sauf le cas où la vapeur de l'échappement est complétement employée à autre chose. Je pense qu'il serait simple, même pour les locomotives, de réchauffer l'eau d'alimentation à 80° ou 90°, sans pour cela nuire au tirage provenant du jet de vapeur. Sup-

posons en effet que l'on réchauffe dans le tender à 40°, puis que l'eau à sa sortie de la pompe se rende dans un réservoir avant d'entrer dans la chaudière ; dans ce réservoir on fait passer, soit au moyen d'un serpentin, soit par un tout autre moyen, la vapeur de l'échappement qui se rend à la cheminée : il en résulte qu'une portion de cette vapeur se condense, en élevant la température de l'eau à 80° environ ; et, comme il faut très peu de vapeur pour arriver à ce résultat, le tirage sera sensiblement le même que si on ne réchauffait pas l'eau d'alimentation. Ce moyen de réchauffage est déjà employé sur des locomobiles dans lesquelles on se sert de l'échappement pour activer la combustion : pourquoi ne pourrait-on pas l'employer pour les locomotives?

On peut conclure de là que l'usage de l'injecteur dans les machines sans condensation est défectueux. Il n'en est pas de même pour les machines à condensation, dans lesquelles la vapeur à sa sortie du cylindre est condensée, de manière que l'eau de condensation ait à 35° à 40° au plus. Il est probable que l'injecteur bien construit sera, pour ces machines, aussi bon que les meilleures pompes alimentaires. On peut cependant avoir une crainte; c'est que, par son fonctionnement, l'appareil n'entraîne de l'air dans la chaudière : air qui serait très nuisible au vide dans le condenseur, et qui ferait par cela même rejeter l'injecteur pour les bonnes machines à condensation.

Il résulte des considérations précédentes qu'une pompe alimentaire, même mauvaise sous le rapport du rendement, sera presque toujours préférable à l'injecteur pour les machines sans condensation, quand on pourra réchauffer l'eau d'alimentation par la vapeur de l'échappement. Au contraire, dans le cas où l'appareil n'aspirerait pas d'air avec l'eau, il sera presque toujours préférable aux pompes alimentaires pour les machines à condensation dans lesquelles on ne réchaufferait pas l'eau d'alimention par les gaz provenant du générateur à vapeur.

M. Faure fait ressortir la différence qui existe entre les premiers résultats indiqués par la théorie précédemment donnée par M. Ermel, et ceux qui ressortent d'une expérience qu'il vient de discuter. Après cette première partie de sa communication, et les conclusions très-nettes qu'il en a tirées, M. Ermel a cherché quelle pourrait être la valeur de l'injecteur appliqué à telle ou telle catégorie de machines. M. Faure pense que, dans la discussion il convient de conserver la distinction très rationnelle faite par M. Ermel, entre l'injecteur considéré isolément et le même appareil appliqué à une machine de tel ou tel autre système : la question capitale, selon lui, est de savoir s'il faut, en général, préférer l'injecteur aux pompes d'alimentation, et il demande que cette question soit épuisée avant d'aborder l'examen des applications particulières de l'appareil.

M. Brüll, se renfermant, conformément à cette proposition, dans l'étude de la question générale, déclare accepter les calculs que vient de présenter M. Ermel, d'après une expérience à laquelle il a lui-même assisté et dont il confirme les éléments; mais il désire appeler l'attention sur le degré d'approximation que les résultats peuvent présenter; en ce qui concerne la détermination

du rapport entre le poids de vapeur dépensée et le poids de l'eau injectée, il n'est pas douteux que les pesées aient une exactitude suffisante ; mais l'évaluation de la quantité de chaleur absorbée par l'appareil lui paraît plus difficile, parce que le résultat dépend d'abord d'observations délicates de température, et surtout parce que les erreurs de pesées prennent alors, à raison de leur multiplication par la chaleur latente de la vapeur, une influence considérable, ainsi que l'ont d'ailleurs constaté MM. Giffard et Flaud. Il pourrait donc se faire que les calculs basés sur l'expérience citée, bien qu'irréprochables théoriquement, fussent entachés d'erreur quant au résultat, en ce qui concerne, bien entendu, l'évaluation de la quantité de chaleur absorbée par l'appareil. Une autre expérience, faite dans les mêmes conditions, conduirait à des résultats très différents des précédents. Les évaluations numériques de M. Ermel semblent donc à M. Brüll pécher par leur point de départ.

M. Faure croit devoir rappeler une idée qui avait été émise par M. Arson ; ce serait d'alimenter l'injecteur, pour les expériences, avec une chaudière spéciale, de façon à mesurer directement le poids de vapeur consommé par l'appareil ; il pense qu'on pourrait ainsi éviter les causes d'erreurs signalées par M. Brüll ; de plus la marche suivie dans l'expérience décrite par M. Ermel, et qui consiste à diriger dans une bâche l'eau débitée par l'injecteur, en remplaçant par un robinet la résistance de la chaudière, lui semble renfermer une altération des conditions de marche de l'appareil, qu'on éviterait dans la méthode proposée par M. Arson. M. Faure désire donc que de nouvelles expériences soient faites dans cette voie, et il rappelle que M. Arson a mis à la disposition des membres de la Société une chaudière convenablement disposée pour ces observations.

M. Giffard, invité à assister à la séance, indique que des expériences exactes ont été faites, dans le but de déterminer l'absorption de calories correspondant au travail dynamique de l'appareil ; or, en partant de la formule de M. Regnault pour la quantité de chaleur de la vapeur, on a constamment trouvé un *boni* de 2 0/0 ou à peu près ; ce résultat étant inadmissible, et l'erreur lui paraissant due à la formule elle-même, M. Giffard est d'avis qu'il faudrait avoir de nouvelles observations sur la chaleur latente de la vapeur, avant de rien conclure d'absolument exact sur la portion de calorique absorbée.

M. Faure fait observer que si, comme l'a indiqué M. Ermel, le jeu de l'appareil pouvait, dans certaines circonstances, déterminer un entraînement d'air, ce fait pourrait être la cause du boni trouvé par M. Giffard. Qu'ainsi on pourrait à la rigueur et au besoin trouver peut-être l'explication du fait cité par M. Giffard, sans qu'il fallût, pour cela, attaquer l'exactitude d'une formule établie par M. Regnault.

M. Giffard répond qu'il est facile d'éviter cet inconvénient en fermant, après la mise en train de l'appareil, tous les orifices à l'air libre, et c'est ainsi, en effet, que l'on procède ; d'ailleurs, il n'est pas d'avis qu'il résulterait d'un appel d'air une altération sensible du résultat qu'il a signalé.

Répondant à une question de M. Forquenot, M. Giffard explique comment l'appareil cesse de fonctionner, lorsque l'eau d'alimentation dépasse

une certaine température; ce fait se produit quand l'eau ne peut plus condenser la quantité de vapeur nécessaire à son impulsion. Plus la pression dans la chaudière est élevée, plus la vitesse de l'eau doit être grande, et plus il faut ainsi que le rapport du poids d'eau entraînée au poids de vapeur condensée devienne faible. On peut, en partant des formules des quantités de mouvement, se rendre compte, dans chaque cas, de la limite de température que l'eau ne doit pas dépasser, et l'on voit facilement que cette limite est d'autant plus basse que la pression est plus considérable.

M. Ermel demande quelles seraient les conditions de marche d'un injecteur pour la pression de 2 atmosphères.

M. Giffard indique que le rapport du poids de l'eau au poids de la vapeur s'élèverait alors à 20, et que la différence de température de l'eau à l'entrée et à la sortie de l'appareil ne serait que de 30°, en sorte que la limite de température de l'eau d'alimentation pourrait être de 100° — 30° ou 70°.

M. Faure remarque que, d'après les calculs de M. Ermel, basés sur l'expérience dont il a rendu compte, la quantité de chaleur perdue par l'appareil ne serait que de 7 0/0; il demande à M. Giffard s'il admet ce résultat dans le cas particulier dont il s'agit.

M. Giffard ne croit pas qu'il soit possible de fixer un chiffre certain : ce qui tient à l'inexactitude relative des moyens d'observation; les expériences plus précises qu'il a déjà signalées ne suffisent même pas encore, eu égard à l'incertitude des formules.

M. le Président fait ensuite donner lecture d'une note de M. Vuillemin, membre de la Société, ingénieur principal du matériel et de la traction aux chemins de fer de l'Est, relative à des expériences faites aux ateliers d'Epernay, sur une machine locomotive munie d'un injecteur.

M. Thomas déclare qu'il admet qu'à 1 ou 2 0/0 près l'injecteur n'absorbe pas de chaleur; mais il croit trouver, dans les conclusions de la note de M. Vuillemin, une augmentation des résultats dépassant ceux qu'il est possible d'attendre de l'appareil; il conclut en demandant que ce travail ne soit pas publié avant que l'attention de l'auteur n'ait été appelée sur ce point, attendu que les expériences qui font l'objet de la communication ne semblent pas présenter des conditions identiques de comparaison.

En conséquence, il est décidé que des renseignements seront demandés à M. Vuillemin.

M. Flaud, invité à assister à la séance, fait remarquer que, dans la comparaison qu'il a établie entre l'injecteur et les pompes, M. Ermel a supposé que l'eau d'alimention devait toujours être froide pour le jeu de l'appareil. Cependant l'eau peut être préalablement réchauffée jusqu'à une température qu'on peut déterminer, et cette considération serait de nature à modifier le résultat du calcul de M. Ermel.

M. Ermel répond que sa comparaison s'applique au cas où le réchauffage de l'eau d'alimentation a lieu par la vapeur perdue, et que l'observation qui vient d'être faite laisse subsister, en conséquence, ce qu'il a établi sur l'avantage que présentent les pompes à ce point de vue particulier.

De plus, comme on peut le voir dans ses calculs, il a tenu compte de la température à laquelle peut être portée l'eau d'alimentation avant son passage dans l'injecteur.

M. Flaud répond à une observation contenue dans la note de M. Ermel, sur la difficulté de mise en marche de l'injecteur, en indiquant que, si ce fait a pu se produire accidentellement, il n'est pas inhérent au système, et que tous les appareils qu'il a pu observer se mettent en train avec la plus grande facilité.

MÉMOIRE N° IX

Sur la situation actuelle des Eaux publiques de la ville de Naples, par le Chevalier LUIGI CANGIANO, architecte commissaire-extraordinaire des eaux, etc., etc.

Suivi de quelques observations sur le diamètre le plus convenable à donner aux tubes d'ascension des puits artésiens.

PAR M. CH. LAURENT

Parmi les savants ingénieurs de la ville de Naples, le chevalier Luigi Cangiano, architecte, commissaire extraordinaire des eaux de cette cité, est un de ceux qui ont le plus mérité et obtenu l'estime et la confiance de leurs concitoyens. Savant du savoir d'autrui et surtout du sien propre, il expose, dans une brochure dont nous avons remis un exemplaire à la Société, l'état actuel des eaux publiques de la ville de Naples. Nous avons pensé que la faveur avec laquelle ont été reçues les communications qui ont eu lieu sur des sujets analogues nous autorisait à faire celle-ci, en choisissant les points les plus saillants de cette remarquable étude. Elle renferme d'ailleurs, en dehors du point de vue historique de la question, une série de faits relatifs à l'existence des sources, aux accidents qui peuvent paralyser soit leur expansion au sol, soit leur écoulement régulier dans les canaux chargés de les faire parvenir aux lieux de distribution, et des descriptions minutieuses dignes d'être connues.

I

Sur les conditions actuelles des eaux publiques et potables de la ville de Naples et sur les moyens de les améliorer.

La condition de l'eau potable, dite eau de la *Bolla*, et de celle appelée eau du *Carmignano*, est arrivée à un tel point, par suite de diminution sensible, qu'elle doit fixer toute la sollicitude du corps municipal de la ville de Naples. Dans l'intérêt de la population, il est grand temps de s'occuper des moyens à prendre pour améliorer l'état actuel. Mais, pour réussir dans cette entreprise, il faut connaître les vraies causes qui produisent le mal et les moyens de les faire disparaître ou de les éviter. Ayant déjà publié une partie des choses les plus secrètes relatives à cette branche très-intéressante des eaux de la ville de Naples (1), je crois qu'il ne sera pas sans utilité de faire connaître aujourd'hui ce que, par suite d'études spéciales, j'ai pu recueillir de documents relatifs aux susdites eaux, au point de vue de l'hydrologie physico-chimique et de l'économie.

(1) Mémoire sur *Le acqua publique potabile della città di Napoli, e de modi di aumentarle*, 1843.

Reflessioni sulle acque potabili della città di Napoli, 1848.

Sul l'attuale condizione de'mulini delle quatro case di proprietà della città di Napoli, e su'mezzi di migliorarla, 1851.

EAU DE LA BOLLA

Manière dont l'eau est recueillie et usage auquel elle est destinée.

L'eau est admirablement recueillie dans un premier canal souterrain établi le long de la partie relevée de la plaine de la *Bolla;* au commencement, ce canal suit la direction du prolongement de la montagne la *Somma*; partant du midi il la contourne et prend sa pente vers le nord, pour se terminer au point appelé *Casa dell'acqua* (maison de l'eau).

Ce canal souterrain, creusé dans les alluvions vésuviennes, est muré sur les côtés et recouvert d'une voûte en maçonnerie, avec puits en spirale au-dessus : il a une longueur de 1,375 mètres, et une section moyenne de $0^m.80$ en largeur et de $1^m.85$ en hauteur. Le fond du canal, à sa naissance, se trouve à $13^m.20$ au-dessous de la plaine, et à son extrémité à $3^m.97$. Le terrain qu'il parcourt se compose de sables mêlés de ponce, qui donnent issue à des eaux abondantes. Cette partie du canal porte le nom de *Braccio di Benincasa;* on croit avec raison qu'il fut construit du temps de l'antique Naples.

Dans ce canal, à 317^m 50 de sa naissance, vient affluer l'eau qui se recueille dans un autre canal appelé *Braccio della Preziosa,* qui, d'orient, pend vers l'occident. Celui-ci est creusé dans un conglomérat solide ou tuf vésuvien : il a $510^m.60$ de longueur, et une section de $0^m.80$ de largeur sur une hauteur de $1^m.85$. Le fond, à sa naissance, est à $15^m.80$ au-dessous du sol, et, à son embranchement avec le premier canal, à $7^m.94$.

On recueille, dans ce canal, l'eau qui jaillit des fissures du sol et de la partie inférieure des parois latérales. Sur ce canal se greffe d'équerre un autre canal appelé ***Braccio di Taverna nuova***, qui, du nord et près de la route consulaire de la Pouille, descend vers le midi. Ce dernier, lui aussi, est creusé dans le conglomérat solide : il a une longueur de 275 mètres et la même section que les précédents, et l'eau se recueille de la même manière. A l'origine, il est à 13^{m}.20 au-dessous du sol et à l'extrémité à 10^{m}.60.

La construction de ces deux derniers canaux fut entreprise en 1612 et complétée en 1617. Ils furent pratiqués pour recueillir sous la plaine de la *Bolla* de nouvelles eaux, que l'on fit séparément conduire à Naples par un canal souterrain afin de mettre en mouvement vingt-quatre moulins que la municipalité fit construire en trois établissements situés le long de l'ancien fossé. Ces moulins sont ceux que l'on voit aujourd'hui de la *porta Capuana* à la *porta del Carmine*. Comme les travaux de recherches avaient été faits dans la ferme appelée *la Preziosa* appartenant au monastère de *SS. Severino e Sossio*, les autorités de la ville de Naples acquirent la propriété de l'eau trouvée, et la faculté de faire d'autres recherches dans la ferme, afin de recueillir une plus grande quantité d'eau, si elles le jugeaient convenable.

Mais l'eau recueillie, bien qu'elle eût, dans chacun des trois établissements, une chûte de 6^{m}.07, fut insuffisante pour les tenir en activité continue. Pour obvier à cet inconvénient, on fit arriver à Naples l'eau dite de *Carmignano*, et la portion devant servir aux moulins fut émise dans le canal préexistant; puis, l'eau recueillie dans les canaux creusés sous la ferme *la Preziosa* resta abandonnée. Vers le milieu du siècle dernier, la population de la ville de Naples s'étant beaucoup augmentée, une portion manqua d'eau potable pour les besoins de la vie; et, pour y pourvoir, la municipalité fit arriver, en 1765, l'eau restée abandonnée

dans les canaux creusés sous la *Preziosa* dans le canal primitif dit *Braccio di Benincasa*.

Toute l'eau que l'on recueille dans le canal d'origine, parvenue dans la *casa dell'aqua* par un orifice de 0m.92 sur 1m.19, s'échappe au dehors par un déversoir en marbre placé au devant de l'orifice. Ce déversoir est à 0m.66 au-dessus du sol du canal souterrain, et à 18m.50 au-dessus du niveau de la mer. A la distance de 0m.80 de la section de l'orifice de sortie du canal se trouve parallèlement une traverse ou table de marbre, au milieu de laquelle on a établi un taille-eau, également en marbre, qui la divise sur deux coursiers d'une largeur de 0m.40 sur une hauteur de 0m.53, et que l'on appelle *diviseur*. A gauche du courant, une portion de l'eau de ce coursier, passant par un petit canal correspondant à l'angle du diviseur, et fermé par une grille, sort immédiatement à découvert, et coule en une rivière dont le sol est dallé, et dont le fond est à 0m.53 au-dessous du seuil du diviseur. C'est là que prend son origine le fleuve *Sebeto*, qui, par de longs détours le long de la partie basse de la plaine de la *Bolla*, et dans les marais qui suivent, passe sous le pont de la *Maddalena*, et se jette dans la mer.

L'eau du *Sebeto* donne le mouvement à onze moulins de propriétés privées, qui, depuis une époque bien reculée, sont le long de son cours, car on sait qu'en 949 Giovanni, duc de Naples, concéda au monastère des *S. S. Severino e Sossio*, le droit d'établir un moulin qui existe encore aujourd'hui. Les propriétaires des moulins actuels sont obligés de contribuer par moitié à la dépense nécessaire au curage et à l'entretien des susdits canaux dans lesquels se recueille l'eau de la Bolla; en outre, les propriétaires des marais situés sur les deux rives du *Sebeto* ont le droit, du 15 mai au 15 septembre de chaque année, d'y puiser l'eau nécessaire aux irrigations.

L'autre moitié de l'eau, qui sort du canal souterrain par le cour-

sier à droite du courant, se déverse dans un canal qui conserve d'abord la direction du premier. Le fond de ce canal, qui à son origine est fermé par une grille de fer, reste à 1m 72 au-dessous du seuil du diviseur. Le canal tourne ensuite et descend vers l'occident; il est souterrainement établi dans le terrain d'alluvion qui forme les territoires à droite du Sebeto. Muré des deux côtés et couvert d'une voûte en maçonnerie, avec puits verticaux en spirale, il a 0m 80 de largeur et 1m 85 de hauteur; son fond est sableux. Il parcourt ainsi une longueur d'environ 2,964 mètres jusqu'au point appelé ***il Pepe***, où il reçoit de l'eau qui jaillit du sol. Un peu au-dessous de la ***casa dell' aqua***, en suivant le courant, conflue aussi en ce canal une autre quantité d'eau importante, recueillie latéralement par un canal semblable appelé ***Braccio nuovo***, d'une longueur de 423 mètres, construit en 1765.

Du lieu appellé ***il Pepe*** jusqu'à Naples, l'eau est conduite par un aquéduc souterrain nommé ***Formale Reale***, dont le sol est dallé, et dont les murs latéraux sont en maçonnerie enduite de stuc; il est recouvert d'une voûte avec puits verticaux en spirale. Sa section moyenne est de 0m. 80 de largeur sur 1m. 85 de hauteur. A gauche du courant se trouvent des débouchés pour la décharge de l'eau lorsqu'il est nécessaire de le nettoyer, et il entre à Naples en passant sous la seconde tour qui reste dans les fossés de ***Santa Anna a Capuana***. En ce point, son altitude est de 13m.20 au-dessus du niveau de la mer.

Toute cette eau est concédée et sert aux usages des habitants de la majeure partie de la ville, et de préférence à ceux de la partie édifiée sur l'emplacement de Naples antique. Elle anime, depuis ***Poggio Reale*** jusqu'aux fossés ***Santa Anna a Capuana***, la fabrique royale d'armes, et sept moulins de propriété privée, dont l'eau se décharge et est déversée dans le ***Sebeto***, dans divers puits des grandes maisons du faubourg ***San Antonio abate***,

à l'hôpital des prisons, à *San Francesco* et dans quelques concessions pour irrigation de marais.

Entrée dans la ville, elle donne le mouvement à 9 moulins de propriétés particulières; elle alimente 25 fontaines publiques et une très-grande quantité de puits et de fontaines dans les grandes maisons, ainsi que dans les forts et casernes. Il est remarquable que toutes ces concessions furent faites quand l'eau de *la Bolla* était la seule que l'on recueillit dans le premier canal souterrain.

II.

Variations auxquelles l'eau a été sujette, et moyens en usage pour y obvier.

On reconnait avec certitude les variations qu'a subies le volume d'eau fourni par la *Bolla*, en observant la hauteur de l'eau aux diverses époques sur le seuil du diviseur dans la *casa dell'aqua*.

On ne connaît, par documents antiques, ni la hauteur, au-dessus du seuil du diviseur, de l'eau que l'on recueillait dans le premier et unique canal, ni les variations auxquelles elle pouvait être sujette. Mais on sait, par documents, qu'en 1765, après avoir été unie à l'ancienne eau recueillie dans la ferme de la *Preziosa*, le volume total s'écoulant par-dessus le seuil du diviseur emplissait non-seulement les orifices de sortie, mais même les recouvrait.

On sait qu'au commencement de ce siècle, l'eau s'écoulant par-

dessus le seuil du diviseur commença à diminuer de hauteur, et que, dans l'année 1822, cette hauteur se réduisit à 0m. 264, de sorte que les deux divisions par lesquelles l'eau se répartissait restèrent découvertes sur une hauteur de 0m. 264, et la population de Naples souffrit d'une véritable pénurie d'eau.

Pour y remédier, en 1823, les six architectes distingués de la commission des eaux firent creuser, dans les parois des deux canaux, dits *Braccio della Preziosa* et *di Taverna nuova*, des grottes d'équerre, pratiquées dans un conglomérat solide ; on en creusa 66, de dimensions diverses, avec le sol en pente du côté des canaux. L'eau jaillit partout, des fissures du sol et de la partie inférieure des parois. On obtint, par ce travail relativement cher, une masse d'eau, qui donna une augmentation de 0m.211 sur le seuil du diviseur, de sorte qu'il ne resta plus découvert du système que 0m. 053.

Peu d'années après, l'eau commença de nouveau à diminuer d'une manière sensible. En 1830, le savant commandeur Théodoro Monticelli publia un mémoire intitulé : *Sulla origine delle acque del Sebeto di Napoli antica et di Pozzuoli*, dans lequel ce célèbre naturaliste expose la formation géologique et la conformation de la vaste plaine de la *Bolla*, avec des théories physiques et géologiques à l'appui des faits. Il démontre que, sous toute cette plaine, il existait une masse d'eau latente; il examine comment l'eau jaillit des canaux et des grottes creusées en 1823, et dit : « Je « vois dans les deux canaux souterrains et les très-petites grottes « que l'on y a pratiquées, et que les fontainiers appellent cônes, « et avec lesquelles ils prétendent avoir augmenté le volume des « eaux, qu'ils ignorent que l'expurgation des canaux et des grottes « devait consister dans la destruction faite avec discernement de « la stalactite calcaire qui doit se former dans le sol et les parois. « Puisque ces mêmes eaux, conduites à Naples, en produisent en- « core en obstruant par leurs dépôts les petits conduits, il n'est

« pas possible que de semblables effets ne se produisent pas dans « les grottes et canaux souterrains où elles se distillent, jaillissent « et se recueillent. »

Mais ce savant, bien qu'il devinât, par induction seule, la présence de la stalactite calcaire sur les parois latérales et les sols desdits canaux, comme effectivement elle s'y trouvait sans jamais y avoir été remarquée, n'expliqua pas par quelle cause et comment le phénomène se produisait, et s'il était accidentel ou continu. Ce manque d'explication a induit en erreur les personnes chargées du service des eaux de *la Bolla*, et occasionné des dommages comme on le verra plus loin.

Les architectes qui composaient alors la commission des eaux étaient encore ceux qui avaient fait creuser les grottes; appréciant l'exposé de Monticelli, et ayant fait, en 1832, examiner tous les canaux, ils reconnurent que la stalactite s'y trouvait et qu'elle se formait de préférence sur le sol et à la partie inférieure des parois des deux canaux souterrains et des grottes latérales creusées dans le conglomérat. Ils la firent enlever, et on vit que son épaisseur atteignait, en certains points, 0m.08.

Il résulta de ce travail que l'eau arriva non-seulement à couvrir le diviseur en entier, mais encore s'éleva à 0m.53 au-dessus.

L'eau recommença à diminuer peu d'années après; et, en 1841, la quantité d'eau passant sur le seuil du diviseur n'avait plus qu'une hauteur de 0m.40.

L'eau continuant toujours à diminuer, le 11 juin 1855, le directeur du ministère de l'intérieur, le chevalier grand-croix Bianchini, accompagné de l'intendant de la province, du syndic de Naples, de la commission décurionale et de moi, se rendit tout exprès à la *casa dell'aqua*, à la *Bolla*. Les eaux furent mesurées dans la verticale des deux orifices de sortie; la hauteur fut trouvée de 0m.32, de sorte que les deux divisions restaient découvertes de 0m.21.

La diminution ayant toujours lieu, j'ai constaté que, le 5 juillet de la même année, elle avait encore progressé de près de deux centimètres, et, qu'en conséquence de cette diminution, le volume d'eau qui arrive à Naples n'est plus que le tiers de ce qu'il est quand les orifices des deux divisions sont couverts sur toute leur hauteur.

Dans cette période de dix-huit ans de diminution progressive et continue de l'eau, tous les trois ans les canaux souterrains ont été expurgés sur tous les points où l'eau surgit et court, ainsi que l'aquéduc qui la porte à Naples : le dernier nettoyage fut fait l'an dernier.

Dans le compte-rendu des travaux exécutés, que l'on conserve à la mairie, il est dit que, chaque fois, on a taillé dans les canaux et dans l'aquéduc en maçonnerie les racines des arbres qui s'y étaient infiltrées, qu'on a enlevé tous les dépôts de sable et de substance végétale, qu'enfin on a creusé à nouveau dans le sol des canaux et des grottes, et taillé le nitre, nom que le vulgaire donne à la stalactite calcaire.

III

Causes de la diminution de l'eau.

Suivant l'opinion traditionnelle des agents du service des eaux de la *Bolla*, il a toujours été soutenu et l'on soutient encore aujourd'hui que la diminution du jaillissement des eaux souterraines dans les canaux a pour cause le peu d'abondance des pluies tombées annuellement sur la plaine de la *Bolla* et sur les

terrains environnants, ainsi que l'éruption du Vésuve, qui a une grande influence.

Sans mettre en doute que l'eau de pluie soit l'élément principal de la production et de l'alimentation souterraine, nous devons, d'après des documents authentiques, examiner si, depuis l'année 1841 jusqu'à ce jour, la quantité d'eau tombée sur la plaine et ses environs a été réellement moindre que les années précédentes.

Les observations météorologiques faites à l'Observatoire royal de Naples depuis une longue période d'années constatent que la hauteur moyenne de l'eau de pluie qui tombe annuellement à Naples est de 0.72 à 0.79. Or, nous voyons d'après les publications annuelles de cet Observatoire que la quantité de pluie tombée de 1841 à 1858 a été

Année	Centimètres
1841.	102,86
1842.	102,41
1843.	71,24
1844.	73,56
1845.	81,41
1846.	96,93
1847.	92,26
1848.	79,02
1849.	78,34
1850.	78,49
1851.	83,04
1852.	62,79
1853.	93,56
1854.	85,05
1855.	104,28
1856.	89,42
1857.	82,52
1858.	96,31

Faisant la moyenne de ces dix-huit années, on trouve que la hauteur de l'eau tombée annuellement à Naples est de $0^m.8641$, et par conséquent de $0^m.0667$ plus élevée que les $0^m.7972$ des années précédentes. Or, comme la plaine de la *Bolla* fait partie des environs de Naples, la même quantité de pluie est tombée sur cette plaine et ses environs, et, puisqu'une portion de cette pluie est le principal élément de la masse d'eau qui se trouve à l'état latent sous la plaine, celle-ci a certainement reçu une plus grande quantité d'eau qu'à l'ordinaire.

Les deux autres éléments qui concourent à l'alimentation des sources, les rosées et surtout les fontes de neiges, forment aux yeux de l'auteur un appoint si minime dans ce pays qu'il est à négliger.

Ces faits incontestables démentent donc formellement la croyance vulgaire que la diminution des eaux dans les canaux souterrains de la *Bolla* depuis dix-huit ans provient ou est en proportion de la diminution de la quantité d'eau météorique tombée annuellement sur cette plaine et ses environs. Ils prouvent au contraire qu'elle provient d'autres causes. Ces causes sont au nombre de deux, concomitantes entre elles, l'une pressentie, l'autre ignorée.

La cause pressentie, qui est la principale, est la formation du carbonate de chaux, mais il faut savoir d'où il vient et comment il se produit, si sa formation est accidentelle ou continue, en quoi et comment il opère et s'oppose au libre écoulement de l'eau dans les canaux souterrains.

On sait, de toute antiquité, que les eaux souterraines contiennent presque toutes une dissolution plus ou moins grande de carbonate de chaux qu'elles déposent lorsqu'elles sortent de leur état latent, et courent, soit en rivière, soit sur le terrain, soit dans des aquéducs (1).

(1) Strabon, liv. v, n° 257. — Pline, liv. II, chap. 103.

Il est facile de voir et l'on sait depuis longtemps que l'eau de la *Bolla* se recueille toujours limpide dans les canaux souterrains, et qu'elle arrive ainsi à Naples, mais qu'elle contient une grande quantité de bi-carbonate de chaux, qui, en perdant un équivalent d'acide carbonique, passe à l'état de carbonate, et, aussitôt, se dépose et se solidifie sous forme de stalactite calcaire.

Ce phénomène se produit parce que c'est du bi-carbonate de chaux que l'eau contient en dissolution à l'état latent, tandis que, seul, le carbonate de chaux est insoluble dans l'eau. Mais quand cette eau, jaillissant à travers les canaux et les fissures du terrain dans lequel elle était renfermée, arrive au contact de l'air, une portion de l'acide carbonique en excès s'échappe sous forme gazeuse, et le carbonate calcaire étant insoluble dans l'eau se précipite rapidement. Le phénomène se produit de plus en plus parce que les premières molécules qui se déposent opèrent une attraction sur les suivantes.

Ce phénomène perpétuel ne produit pas les mêmes effets dans tous les canaux que nous examinons.

Dans les canaux souterrains désignés sous le nom de *Braccio della Preziosa* et de *Taverna nuova*, qui, comme les grottes latérales, sont creusés dans le conglomérat solide, l'eau qui jaillit des fissures du sol et des parties latérales produit à sa surface une pellicule permanente, opaque et brillante comme une lame de talc, qui empêche de voir le mouvement de l'eau et la fait croire stagnante. Cette pellicule est produite par l'agrégation des molécules de carbonate de chaux, attiré par les substances organiques qui surnagent sur l'eau et y pénètrent par les puits en spirale.

Comme on le voit, ce dépôt de carbonate de chaux vient obstruer complètement les fissures d'écoulement et paralyser ainsi la sortie de l'eau.

Outre cet obstacle que rencontre l'eau pour jaillir dans les ca-

naux et grottes latérales, on doit prendre aussi en considération que les fissures qui existent en travers de l'épaisseur du terrain ne sont pas parfaitement perpendiculaires à la nappe d'eau située au-dessous, mais ont des sinuosités plus ou moins prononcées dans lesquelles les sables s'accumulent peu à peu.

Telles sont les vraies causes qui ont produit et produisent la diminution progressive du jaillissement de l'eau dans les canaux souterrains et grottes latérales.

Il est vrai que pour éviter le grave dommage produit par le carbonate de chaux, dommage découvert en 1832, on l'a fait enlever tous les trois ans ; mais ce travail a causé un grand préjudice.

En effet, il est évident que l'incrustation du carbonate de chaux arrive à avoir, en 3 ans, une épaisseur moyenne de $0^m,004$, et que cette matière devient tellement adhérente au terrain, qu'il devient difficile, sinon impossible, de l'en détacher seule. Par ce motif il a fallu tailler chaque fois, à la pioche, le terrain des sols et de la partie inférieure des parois latérales qui restent sous l'eau, en augmentant plus ou moins leur profondeur et leur largeur. Ce travail long et coûteux n'a produit qu'un bien momentané, et même les fissures se sont de plus en plus obstruées.

Dans les canaux nommés *Braccio di Benincasa* et *Braccio nuovo*, dans le trajet de la *casa dell'aqua* au *Pepe*, canaux entièrement revêtus en maçonnerie, excepté dans les sols sableux qui fournissent de l'eau, on remarque encore cette pellicule surnageante, qui s'incruste sur la maçonnerie des parois latérales mais ne se dépose aucunement sur le sol. Cela doit provenir de ce que les petits graviers de sable et les ponces dont le sol se compose sont complétement incohérents entre eux, et que l'eau qui coule à travers leur masse les maintient dans un mouvement continuel qui s'oppose à ce qu'aucune substance puisse s'y fixer. Cela étant, l'eau, dans ces deux canaux, n'est sujette à aucune diminution causée par des dépôts calcaires.

Mais, quoique la même quantité d'eau puisse toujours sortir par ces canaux, depuis une époque très-éloignée, elle n'est jamais arrivée sans perte au diviseur de la *casa dell'acqua*, et il en arrive moins encore jusqu'à Naples. Cela tient à l'incurie : parce que, malgré des lois faites à ce sujet et qui sont toujours en vigueur, on a toléré la plantation d'arbres placés non à distance légale des travaux ; et, ce qui est pis encore, on a toléré des plantations au-dessus même des voûtes. De là vient que les racines des arbres et spécialement de ceux d'escences laiteuses, se trouvant à proximité de l'eau, se prolongent, se dilatent, et finissent par s'insinuer à travers les joints de la maçonnerie pour peu que celle-ci présente quelque petits vides. S'immergeant dans l'eau, favorisées par l'absence de lumière, elles y développent un chevelu abondant. Il en résulte une telle destruction de la maçonnerie, que l'eau se perd sur certains points et coule au dehors ; cette perte s'augmente encore par les barrages que produisent les débris végétaux, particulièrement les cannes de maïs que l'on jette dans les puits pendant l'été.

Il est vrai que tous les trois ans on a taillé à la serpe les racines des arbres qui pénétraient à l'intérieur ; mais, en exécutant ce travail, les secousses que l'on produisait sur la maçonnerie l'ont de plus en plus dégradée ; la taille même des racines donne à celles-ci une nouvelle vigueur ; elles grossissent plus que jamais et augmentent le mal.

Les grandes éruptions du Vésuve ont également pu et peuvent encore contribuer à la diminution des eaux qui jaillissent dans les canaux souterrains.

On sait, tant par tradition que par des faits récents, que, dans les périodes qui précèdent les grandes éruptions du Vésuve et pendant toute leur durée, les eaux de sources qui alimentent les puits creusés sur le penchant du volcan et dans les terrains qui en circonscrivent la base se dessèchent. On croit généralement

que ce phénomène est dû à l'absorption par les matières ignées, qui, des entrailles de la terre, se soulèvent dans les cavités du volcan et montent jusqu'à ce qu'elles viennent faire éruption par n cratère ou par les bouches qui s'ouvrent sur son versant. ʼst à cause de cela que la disparition de l'eau est prise pour ndice de prochaine éruption. Il me semble, à moi, que la cause principale de ce phènomène est la perturbation à laquelle l'eau est sujette à l'état latent.

Il est trop connu qu'à l'approche des grandes éruptions du Vésuve et pendant leur durée, il s'est produit de fortes détonations et commotions, telles, par leur force et leur durée, qu'elles ont occasioné, sur son versant et sur le sol qui avoisine le périmètre de sa base, les effets des tremblements de terre les plus importants. Les dommages qui en sont résultés ont consisté dans la rupture des terrasses qui recouvrent les maisons, et quelquefois aussi dans celle de leurs murs. Ce fait s'est surtout produit et se voit encore à *Torre del Grecco*, à *Resina*, à *S.-Anastasia* et dans d'autres pays environnants.

De tels évènements ont dû nécessairement jeter la perturbation au sein des eaux souterraines qui se trouvent à proximité du volcan sans être à de grandes profondeurs au-dessous du sol. Comme les eaux ne forment pas une masse liquide, mais se trouvent, au contraire, au milieu de sables et de ponces, quand toute la masse vient à être agitée par les secousses du volcan, l'eau, par sa propre force d'ascension, en se soulevant au-dessus des sables et ponces qui la contient, doit nécessairement en entraîner une partie avec elle. Ainsi chargée de corps étrangers, sa densité augmentant, sa force d'ascension diminue et elle ne peut plus s'écouler par les fissures habituelles, ou elle ne s'y écoule ou n'y arrive qu'en quantité bien petite. Il peut se faire aussi que ces fissures, par l'agitation imprimée aux terrains dans lesquels elles se trouvent, surtout quand ils se composent de marnes ar-

gileuses, se resserrent et se bouchent de manière à ne plus laisser passage à l'eau. Mais, les ondulations cessant, l'eau reprend son état naturel, et, par la force d'ascension dont elle est douée, s'élevant au-dessus des sables et des ponces, elle s'insinue dans les fissures supérieures en enlevant les obstacles, les parcourt, et retourne comme à l'ordinaire jaillir dans les récipients supérieurs. Ce phénomène se produit, comme on le sait, aussitôt que les éruptions du Vésuve cessent.

Ce fait a pu contribuer quelquefois à obstruer les fissures qui alimentent les canaux souterrains de la *Bolla* et autres.

Moyen de rendre constant le jaillissement de l'eau.

Le moyen de rendre constant le jaillissement de l'eau souterraine, dans les canaux creusés dans le terrain de conglomérat solide, dépend de la nature des terrains dans lesquels l'eau se trouve renfermée, de la quantité d'eau et de la forme des canaux conducteurs.

Ici, M. Cangiano s'étend sur les lois hydrauliques d'après lesquelles l'eau s'insinue dans les fissures du terrain supérieur et s'en échappe; toutefois il ne croit pas que tout le volume que pourrait produire la nappe souterraine arrive à la surface, parce que les fissures naturelles du terrain congloméré supérieur ne sont ni perpendiculaires, ni régulières, et, qu'en outre, elles doivent être plus ou moins obstruées. Il en conclut que, si l'eau, en sortant du sable, au lieu de s'insinuer et de parcourir un chemin difficile, n'avait à parcourir que des conduits larges et perpendiculaires à sa masse, on obtiendrait un écoulement perpétuel et beaucoup plus abondant.

L'eau qui se trouve et coule sous la ferme la *Preziosa* n'est certainement pas le produit unique des eaux météoriques qui tombent sur la plaine adjacente, elle doit comprendre aussi l'eau souterraine que l'on sait exister sous la vaste plaine appelée *il Candelaro*, qui se trouve à un niveau supérieur, et a son pendage vers la ferme la *Preziosa*, dont elle n'est distante que de 2 kilomètres.

Le forage d'un conduit cylindrique qui, de la surface du sol d'un des susdits canaux, atteindrait la nappe souterraine inférieure, est chose facile à faire avec des outils spéciaux, et n'occasionera pas une grande dépense, puisqu'il s'agit de forer seulement le terrain congloméré, dont on ne connaît pas exactement l'épaisseur, mais que, par induction, je crois ne devoir pas avoir plus de 37^{m}. 80 (100 palmes). Le diamètre du forage serait de 0^{m}. 26, et on le garnirait d'une colonne d'ascension en cuivre. Un bon bétonnage serait fait entre les parois du terrain et les colonnes, de manière à ce que toute l'eau obtenue passe par l'intérieur de la colonne de cuivre. Je crois, qu'il convient de préférence de forer le premier puits au point de jonction du canal de la *Preziosa* avec celui de *Taverna nuova*, pour juger ensuite où on doit en faire d'autres, s'il est nécessaire.

Il n'y a pas à craindre que l'eau souterraine dont nous parlons, trouvant naturellement son passage à travers les fissures du terrain congloméré, ne monte pas ensuite dans les puits forés, car, là où elle trouve la sortie la plus facile, là aussi elle concentre toute son affluence, et, par la loi rappelée plus haut, il s'établit en ce point un courant d'ascension comme les siphons en offrent le modèle artificiel.

La nappe souterraine s'élevant et jaillissant de cette manière, son débit, même dans les cas de perturbations, ne peut être sujet à aucune variation, parce que le tube métallique se trouvant parfaitement vertical et ayant un grand diamètre, l'eau qui

la remplit la parcourt avec toute la force d'ascension qu'elle possède, et ne peut y déposer aucune des substances qu'elle entraine avec elle : elle ne peut que les précépiter dans le canal alors qu'elle se déverse. Le carbonate de chaux ne peut donc produire d'obstacle à l'écoulement, ne pouvant s'incruster qu'à l'extérieur et au-dessous de l'orifice du tube, d'où on peut le détacher facilement en cas de nécessité.

Pour le reste, si l'on veut sortir de l'apathie qu'on a montrée jusqu'à ce jour, en faisant, comme cela est juste et légal, déraciner tous les arbres qui ne se trouvent pas à la distance voulue des travaux, et en s'opposant à la projection des immondices par les puits en spirale, on obtiendra un courant d'eau rapide et régulier.

Cela fait, il sera absolument nécessaire de restaurer la maçonnerie, pour la mettre à l'abri d'une détérioration plus grande.

On a raison de penser que l'eau de la *Bolla* a été recueillie et destinée par les fondateurs de l'antique Naples aux usages auxquels elle sert aujourd'hui. Mais, comme le prouvent divers documents, il est certain que, depuis une époque très-reculée, elle se trouve réellement employée aux usages publics, soit pour la partie qui produit le *Sebeto*, soit pour la quantité qui parvient à la capitale. Elle a fourni, jusqu'au XVII[e] siècle, la seule eau potable qu'on ait eue à Naples, et il est naturel de chercher aujourd'hui à en augmenter autant que possible le volume.

EAU DU CARMIGNANO.

I

Son origine et son usage.

La population de Naples, qui, au commencement du XVIIe siècle, malgré la mortalité causée par la guerre et la peste, se composait de 230,000 habitants, souffrait du manque d'eau potable et de farine, parce que, bien que le grain fût abondant, les moulins de la ville ne pouvaient moudre, faute de moteur.

César Carmignano, par suite de traités faits avec la municipalité et la maison privée du Roi, entreprit, en 1629, de conduire à ses frais, à Naples, l'eau qui porte son nom, la prenant au-dessus de *S.-Agata de' Goti*, et la conduisant en partie par un aquéduc souterrain, et en partie en canal découvert. Elle a sa source dans le fleuve *Faenza*, et s'augmente, sur son parcours, du trop plein des eaux du château de *Caserta*.

Le fleuve *Faenza* est formé, à son origine, de deux ruisseaux alimentés par des sources qui sortent du terrain tertiaire subapennin, répandant l'eau à fleur de terre sur le versant des collines qui dominent le territoire des communes de *S.-Martino* et *Cervinara*, province de *Principato Ultra*. Après un chemin long et tortueux, ces deux ruisseaux, augmentés de l'eau qui jaillit du sol, s'unissent à *Ponte-Cardito*, sur le territoire de *Cervinara*. A partir de ce point, le fleuve *Faenza* parcourt, en serpentant, le fond de la partie abaissée du haut-plateau qui, de la ligne qui unit *S.-Martino* à *Montesarchio*, se prolonge jusqu'à *Airola*,

puis il chemine au fond de l'étroite et rapide vallée de *Mojano* et de *Limatola*, jusqu'au territoire de *S.-Agata de' Goti;* là, tournant à droite, il va se jeter dans le fleuve *Volturno*, sur le territoire de *Piana di Cajazzo*.

Le fleuve *Faenza* reçoit, sur la rive gauche, depuis le territoire de *Cervinara* jusqu'à celui de *Paolizi*, trois petits ruisseaux, produits de sources qui sortent du milieu du terrain tertiaire qui repose sur le penchant des montagnes latérales des Apennins. Puis, sur la rive droite, depuis le territoire de *Montesarchio* jusqu'à celui d'*Airola*, il reçoit six petits ruisseaux qui, sur le versant du mont *Taburno*, prennent leur source les uns dans le terrain subapennin, d'autres dans le terrain d'alluvion ; le plus petit nombre sort des fissures du tuf volcanique. Beaucoup d'autres ruisseaux, dont 12 sont relativement abondants, alimentés par des sources dont les eaux jaillissent du terrain inférieur au tuf volcanique, viennent alimenter le même fleuve, le long de la vallée, sur le territoire de *Mojano*.

Sur le parcours du fleuve *Faenza*, depuis le territoire de *Paolizi* jusqu'à celui de *Mojano*, se trouvent quatre moulins de propriété royale, construits dans l'intérêt des populations de ces contrées.

Dans la vallée, sur le territoire et au-dessus de *S.-Agata de' Goti*, au point dit la *Catena* (la chaîne), qui n'est autre qu'une digue en maçonnerie construite en travers du fleuve *Faenza* pour exhausser le niveau de l'eau, commence, à gauche du courant, et à $0^{m}.80$ au-dessous du niveau le plus bas, le canal *Carmignano*, qui prend l'eau de ce fleuve et la conduit à Naples.

Ce canal, de la *Catena* à *Maddaloni*, sur une longueur d'environ 15 kilomètres, est tout entier en maçonnerie et voûté; les 1,500 premiers mètres sont seuls à découvert. Il coule à des profondeurs variables, et à mi-côte des collines tertiaires qui se relèvent le long de la chaîne de montagne apennine dite de

Lungano. De *Maddaloni* à *Licignano*, sur une longueur d'environ 17 kilomètres, son lit, creusé dans le tuf volcanique jusqu'à *Cancelle*, et ensuite dans le terrain d'alluvion, est de forme irrégulière. Enfin, de *Licignano* à Naples, sur une longueur de 7,500 mètres environ, l'eau coule dans deux canaux souterrains et maçonnés, l'un appelé *delle Fontane* (des fontaines), l'autre *dei Mulini* (des moulins). L'eau des Fontaines, dans Naples, est à 25ᵐ.15 au-dessus du niveau de la mer; et celle des Moulins à 17ᵐ.96.

Une partie de l'eau de la cascade de *Caserta* débouche par un aquéduc, dit de *S.-Benedetto*, disposé à cet effet, dans le canal *Carmignano*, sur le territoire de *Monte de' Gori*, et en grossit les eaux dérivées du fleuve *Faenza*.

La portion de l'eau de *Carmignano* qui arrive à Naples par le canal des Fontaines sort sans pression par une ouverture rectangulaire de 0ᵐ.142 de largueur et 0ᵐ.285 de hauteur; cette eau est destinée à l'alimentation de six fontaines publiques, et à l'usage des citoyens. La plus grande partie du volume que conduit le canal des Moulins fait mouvoir 30 roues, dans quatre établissements appartenant à la ville, situés le long de l'antique fossé; de là, l'eau se jette dans la mer.

II

Volume de l'eau, sa variation, qualité et effets qui en dérivent.

D'après la magnifique origine de l'eau du *Carmignano*, il semble qu'elle devrait arriver toujours abondante dans la ville de Naples; il n'en est pas pourtant ainsi.

Une partie de l'eau du fleuve *Faenza* qui se verse dans le ca-

nal de *Carmignano* se distribue perpétuellement, avant d'arriver à *S.-Agata*, par un conduit appelé *Limatola*, de 0m.185 de diamètre, situé dans la paroi droite du canal, sous une chûte moyenne de 0m.66. Une autre partie se distribue par deux autres conduits de 0m.066 de diamètre, au point dit de la *Peschiera*, près de la ville de *S.-Agata*, sous une charge moyenne de 0m.53; et, enfin, à *Maddaloni*, par un autre conduit appelé le *Ducatone*, du diamètre de 0m.087, sous une chûte moyenne de 0m.264. En outre, toutes les sources qui forment le fleuve *Faenza* et celui du *Fizzo*, qui produisent l'eau de *Caserta*, sont sujettes, dans leur débit, à de grandes variations, qui durent, sans discontinuité, pendant plusieurs années; et, quand la période de diminution arrive, le volume de ces deux fleuves décroît tellement, que, lorsque ces eaux se jettent dans le canal *Carmignano* et dans l'aquéduc *Carolino*, elles sont réduites à environ la moitié du volume ordinaire qui s'y recueille quand les sources jaillissent abondamment.

De plus, par cause naturelle et par le fait de l'homme, quelle que soit la période d'abondance ou de diminution des sources, l'eau du *Carmignano* est sujette, dans le cours de chaque année, à des variations sensibles.

Les sources qui alimentent le fleuve *Faenza* sortent au milieu de territoires de propriété privée. Les petits ruisseaux produits par leurs eaux courent, eux aussi, à travers des territoire de propriété particulière, jusqu'à ce qu'ils viennent se jeter dans le fleuve *Faenza*. Aussi, jusqu'à la fin de l'année 1853, les propriétaires et les cultivateurs des terrains dans lesquels les eaux des sources prennent naissance en déviaient le cours durant tout l'été, et s'en servaient pour l'irrigation de leurs champs et la macération du chanvre, ce qui réduisait la quantité d'eau qui alimente le fleuve *Faenza;* mais, aujourd'hui, un décret royal du 17 janvier 1853 leur permet de s'en servir, mais leur défend d'en arrêter le cours.

Pendant le reste de l'année, et particulièrement en hiver, l'eau du *Carmignano* arrive toujours abondante dans la ville de Naples, parce que ce fleuve reçoit toutes les eaux de pluie qui coulent, depuis les très-vastes versants des monts apennins, qui, des deux côtés, dominent le fleuve sur une longueur de 12 kilomètres environ, depuis son origine jusqu'à la *Catena*, et que les torrents de pluie qui descendent des monts environnants, et, particulièrement, ceux qui viennent de *Monte de' Gori* et *d'Arienzo*, se jettent dans le canal *Carmignano* sur les points où il coule en rivière, à découvert. Il résulte de tout cela que le canal, tant dans les périodes d'abondance d'eau que dans celles de pénurie, ne peut souvent contenir en hiver toute l'eau qui s'y jette, et qu'il faut alors la faire déverser par des canaux de décharge disposés à cet effet de distance en distance, et où se trouvent des gardiens qui en règlent le débit, afin d'éviter de faire crever le canal.

L'eau du *Carmignano* parvient à Naples, non seulement toujours trouble et bourbeuse, mais peut-être aussi saturée de principes et substances insalubres pour ceux qui, par nécessité, doivent en faire usage pour les besoins de la vie, ce qui est on ne peut plus naturel et résulte de la manière dont l'eau est conduite.

Dans le fleuve *Faenza*, comme il est dit plus haut, confluent toutes les eaux des versants latéraux des monts apennins, qui entraînent une grande quantité de marne argileuse, de gravier, de sable et de matières organiques. L'eau qui se verse dans le canal *Carmignano* emporte avec elle une partie de ces matériaux, qu'elle conduit et dépose le long de son parcours.

Non seulement, dans la partie découverte, qui, de *Maddaloni* à *Licignano* conduit l'eau du *Carmignano*, se précipitent les torrents des *Monte de' Gori* et *d'Arienzo*, qui entraînent une grande quantité de fange marneuse, de sable, de gravier, et de toutes sortes d'impuretés qui se déposent le long du lit de la rivière et arrivent jusqu'à Naples, mais encore on y jette les

immondices et les ordures des territoires qu'elle traverse. Il y tombe aussi les feuilles des arbres voisins, celles des plantes aquatiques qui naissent le long de ses rives et dans son lit, et une grande quantité d'insectes. A cause de tout cela, et de la pente irrégulière que produisent ces dépôts dans le lit de la rivière pendant l'été, l'eau coule avec lenteur, et acquiert, le long des rives, le caractère des eaux stagnantes, et une quantité de plantes, peut-être inoffensives, y pourrissent. On ne doit pas perdre de vue que la ciguë et le renunculus sceleratus croissent spontanément dans nos terrains bourbeux.

Cela étant, l'eau qui court dans le canal découvert, particulièrement en été, mettant en fermentation, par l'action directe du soleil, les substances végétales et animales, ainsi que les substance minérales qu'elle y dépose, et celles que la rivière contient naturellement, une partie de ces substances se dissolvant et se décomposant, cette eau doit entraîner avec elle des matières organiques et minérales, et se saturer de sels à bases diverses, et enfin, devenir, sinon nuisible, du moins très-peu salubre (1).

En 1831, je publiai un mémoire sous le titre « *Sull'attuale condizione de' mulini delle quattro case di propriétà della città di Napoli, e su' mezzi di migliorarla.*

Dans ce mémoire, j'exposai tous les abus qui se commettaient sur les eaux des rigoles et ruisseaux qui forment le fleuve *Faenza* et sur l'eau du fleuve même, et les moyens de les éviter; j'appelais l'attention sur la nécessité de rectifier le canal souterrain qui conduit l'eau du fleuve *Faenza*, de la *Catena* à *Maddaloni*, et de

(1) Dans l'histoire de l'Académie royale des sciences de Paris, année 1733, page 337, il est rapporté qu'en 1731, une sécheresse extraordinaire fit baisser considérablement le niveau de la Seine; que l'eau en fut altérée, et qu'une maladie épidémique frappa tous ceux qui en firent usage. De Jussieu attribua l'altération de l'eau et la maladie au développement excessif de plantes pernicieuses, et en particulier des hippuris et des conferves.

construire, de ***Maddaloni*** à Naples, un aquéduc maçonné, entièrement couvert, destiné à remplacer le lit de rivière existant, afin de rendre salubre l'eau du *Carmignano*, comme le réclament l'humanité et la salubrité publique. Je démontrai que les sources qui constituent le fleuve ***Faenza*** et celles du ***Fizzo*** sont sujettes à de grandes variations de volume, qui durent pendant des périodes longues et continues de plusieurs années ; et, comme cette année était la sixième d'une période de diminution qui avait occasioné des pertes graves au fermier des moulins de la ville de Naples, je prévis qu'une période d'abondance arriverait sous peu ; je proposai enfin, comme problème, de chercher comment se produit ce phénomène de débit, tantôt faible et tantôt abondant, de l'eau des sources du fleuve ***Faenza*** et de celles de ***Fizzo***, et de voir s'il existe des moyens rationnels et applicables de remédier à ces inconvénients.

L'exposé de ces faits amena deux améliorations réelles, l'une publique, l'autre privée.

Le grand avantage public fut produit par le décret royal du 17 janvier 1853, qui assura par un réglement la pureté et la salubrité de toutes les eaux qui constituent le fleuve *Faenza*, et de celles du même fleuve qui, émises dans le canal *Carmignano*, arrivent à Naples et servent aux usages publics. En considérant que, malgré ces précautions, l'eau ne peut, par le canal tout déformé qui la conduit, parvenir à Naples pure et salubre, le prévoyant législateur ordonne qu'elle y sera amenée par un aquéduc maçonné et entièrement couvert.

Cette œuvre, de la plus grande utilité, tant désirée depuis plus de deux siècles, est entreprise depuis l'an passé, sous ma direction, mais avec des ressources annuelles trop limitées.

Un travail qui nécessite une grande dépense ne peut pas, il est vrai, être supporté par les finances de la ville de Naples dans l'état où elles se trouvent; mais il n'en est pas moins vrai que ce

travail serait de la plus urgente nécessité, et qu'il doit être exécuté de préférence à tout autre.

L'état sanitaire d'une ville est, comme on le sait, fonction de la qualité et de la quantité d'eau mise en usage pour les besoins personnels et domestiques, parce que cet élément, satisfaisant à un des besoins les plus impérieux de l'homme, constitue une des bases les plus importantes de l'hygiène publique et privée, dont l'observation pratique est intimement liée au progrès et la décadence de la civilisation. Aussi, s'il devenait nécessaire de frapper d'un nouvel impôt les habitants de la ville de Naples pour l'exécution de ce travail, on devrait le supporter. Mais on verra que, par le moyen que j'exposerai plus loin, l'œuvre peut se faire sans grever la population.

L'autre avantage obtenu a été le suivant :

Confiante dans mes prévisions et comptant sur la période d'augmentation prochaine que j'avais annoncée, la municipalité, qui aurait dû subir sur la rente de ses moulins une réduction annuelle de 60,870 fr., si elle eût voulu les affermer, préféra les administrer elle-même. La période d'abondance arriva effectivement quelque temps après que la ville eût fait exécuter, en 1852, le nettoyage complet de son canal, depuis son origine, à la *Catena,* jusqu'à la mer ; et, pendant six années, le *Carmignano* apporta à Naples un abondant volume d'eau. Puis, les moulins ayant été conduits et administrés par le Chev. Ferdinando Pennasilico avec la plus grande droiture et une habileté toute particulière, la ville fit chaque année, en moyenne, un bénéfice net de 180,460 fr., tandis que l'offre la plus avantageuse qui lui avait été faite pour la location de ses moulins n'était que de 113,000 fr. par an.

Mais, au commencement de l'année 1858, la période de diminution recommença, le volume d'eau se trouva bientôt réduit à la moitié de ce qu'il était quelques jours auparavant.

Ce phénomène, qui persiste encore, indique qu'il est survenu une période de pénurie dans le débit des eaux des sources qui alimentent le fleuve *Faenza* et dans celles du *Fizzo*, et il est à craindre que cette nouvelle période dure six ans, comme cela est arrivé de 1833 à la fin de 1839, et de 1846 à la fin de 1851, ce qui causera de graves dommages publics et privés.

En effet, les moulins de Naples, qui ne prennent, pour la mouture du blé, que 0 fr. 90 par quital, ne pouvant moudre qu'une quantité de grains beaucoup moindre, surtout en été, où, comme cela arrive actuellement, sur trente moulins appartenant à la ville, huit seulement sont constamment en activité, on sera forcé d'envoyer moudre au dehors, ce qui, à cause des transports et de l'augmentation du prix de la mouture, élèvera le prix de la farine; la nombreuse population de Naples paiera donc le pain beaucoup plus cher, et les 30 moulins de la ville ne rapporteront plus au maximum qu'une somme annuelle de 130,500 francs.

Tout le monde comprend, d'après cela, combien il est important de trouver un moyen de faire disparaître pour toujours les périodes de pénurie dans le jaillissement des eaux dont nous nous occupons, et c'est pour cela que, dans mon mémoire publié en 1851, je posai ce problème. Mais, jusqu'ici, je n'ai pas eu connaissance que personne se soit occupé de le résoudre, ou d'établir les premiers principes qui doivent en provoquer la solution.

Devant, pour assurer un avantage public trop nécessaire, mettre de côté tout intérêt personnel, et voulant, autant qu'il me sera possible, satisfaire aux demandes réitérées qui me sont adressées par le prince d'Alexandrie, maire de la ville de Naples, j'expose mon idée sur le moyen de faire disparaître pour toujours la diminution des eaux en question.

III

Causes qui produisent les périodes d'abondance et de pénurie du débit de l'eau des sources.

Le mode de production des sources étant une des connaissances les plus belles et les plus utiles que l'on puisse acquérir, en même temps qu'un des phénomènes les moins expliqués, tous les grands philosophes ont tenté de le découvrir par des moyens divers et avec plus ou moins de succès. Mais après tant d'opinions émises depuis les temps les plus reculés par les savants, les physiciens conviennent aujourd'hui, sur ce point, que les sources ne sont autre chose que la forme renaissante sous laquelle l'eau se présente dans son constant mouvement de va et vient à la surface du globe.

La science ensuite, après avoir reconnu, dans l'évaporation atmosphérique, le mode d'alimentation perpétuelle des eaux douces, après avoir découvert, dans les formes caractéristiques de l'écorce de la terre, les récipients solides dans lesquels elles sont versées, et après avoir trouvé dans la pesanteur la force qui les débite, a réduit à une théorie la production des sources.

Avec les données qui constituent cette théorie, il me semble que l'on peut découvrir les vraies causes qui produisent les grandes variations de débit des sources qui forment le fleuve *Faenza* et de celles qui produisent l'eau qui vient à *Caserta*.

Le territoire à la surface duquel jaillissent les eaux du fleuve ***Faenza*** et du ***Fizzo*** appartient aux communes de ***S.-Martino***, ***Cervinara***, ***Rotondi***, ***Paolizi***, ***Montesarchio***, ***Vorini*** et ***Bonea***; il forme un plateau élevé, de forme rectangulaire, d'une longueur

moyenne de 7,500 mètres sur une largeur de 5,200 mètres, qui, du côté de l'orient, formé par la ligne des cols proéminents qui, partant de *S.-Martino* arrive à *Montesarchio*, s'étend avec une forte pente vers l'occident, et est sensiblement abaissé dans son milieu, le long duquel coule le fleuve *Faenza*. Il se relève obliquement, du côté du nord, sur le versant méridional du gigantesque mont *Taburno*, et du côté du midi, sur le versant septentrional des hautes montagnes apennines, qui de *S.-Martino*, se prolongent jusqu'à *Arpaia*, par *Cervinara* et *Paolizi*. Le côté occidental est limité par le pic des Apennins, appelé *Triarano*, dont les versants latéraux forment deux gueules: celle exposée au midi, d'une ouverture étroite, met le haut plateau en communication avec la vallée *Gaudina*, fameuse et escarpée; et celle exposée au nord, d'une ouverture large, le fait communiquer avec la vallée qui, du territoire d'*Airola* et de *Mojano*, se prolonge jusqu'à *S.-Agata de'Goti*, et sur le fond et le long de laquelle coule le fleuve *Faenza*. A cause de cette conformation le haut plateau constitue un vrai bassin géologique, en haut des montagnes apennines.

La formation géologique de ce bassin est bien distincte, soit dans sa concavité, soit dans la partie proéminente de son périmètre. Sur le calcaire apennin, qui en forme le fond, reposent les roches avec fucoïdes de la formation du *Macigno;* elles sont recouvertes par les marnes brunes, azurées, qui contiennent des coquilles marines fossiles, et appartiennent au terrain tertiaire subapennin, et, en quelques endroits, apparaissent à découvert à la surface du sol. Ces deux groupes de terrain, dans le sens de la longueur du bassin, se relèvent obliquement sur le versant des montagnes apennines. Le terrain volcanique, qui surmonte les marnes, se compose, à sa partie inférieure, d'un banc de sable mêlé de gravier et de petites ponces; sa partie supérieure est un tuf volcanique solide tout à fait semblable à celui

qui forme le sol de Naples. Enfin, au-dessus de ce dernier, on voit, en certains points, le terrain d'alluvion argileux et durci, et sur tous les autres, depuis la limite orientale du haut plateau jusqu'à la vallée, ainsi que d'*Airola* à *S.-Agata de' Goti*, on trouve le même terrain d'alluvion rendu cultivable.

Cette formation n'est pas une hypothèse, elle est visible et peut être étudiée dans toutes ses parties. Sur le territoire de *S.-Martino*, les roches de grès de la formation du *Macigno* se voient à découvert, reposant sur le calcaire apennin ; on les observe également en divers points, le long du versant du mont *Taburno* et des montagnes vis-à-vis, ainsi que sur le fond de la vallée, depuis *Airola* jusqu'à *S.-Agata de' Goti*. Dans les mêmes endroits, on observe les roches du terrain tertiaire subapennin superposées à celles du *Macigno*. Puis, dans les excavations des nombreux puits qui sont approfondis jusqu'aux marnes subapennines, on voit distinctement les superpositions du tuf volcanique et du terrain d'alluvion durci, composé de sables graveleux aquifères.

Il résulte clairement et très-évidemment de ces faits, que la formation de chacun de nos trois groupes de terrain, à partir des affleurements sur le versant des montagnes apennines, se continue dans toute l'étendue du bassin, et que le fond de celui-ci est formé de calcaire apennin.

Ces terrains sont stratifiés, et leur composition minéralogique est connue et en grande partie visible.

La formation du *Macigno* est variée ; les principales roches qui le composent, et sont superposées les unes aux autres, sont le grès, les marnes, les sables et les argiles marneuses plus ou moins compactes et schisteuses, caractérisées par les fucoïdes ; le terrain subapennin est formé de marnes bleues généralement plastiques, et de marnes argileuses bleues plus ou moins compactes, intercalées de sable avec gravier, le tout contenant une grande quantité de coquilles marines fossiles ; le sable et le gravier

qui recouvrent le terrain subapennin se composent de petits grains de grès et de petits cailloux roulés de calcaire apennin; ils contiennent aussi une grande quantité de ponces et de cristaux isolés de ryacolite, qui doivent être originaires des volcans sous-marins de la région des Champs Flégréens; il en est de même des matières qui composent, en grande partie, le tuf placé au-dessus des sables, recouverts, partout ailleurs, par le terrain d'alluvion, durci par l'argile qu'il contient.

Le terrain du *Macigno* et le terrain subapennin, qui se relèvent obliquement de la concavité du bassin sur les montagnes environnantes, forment, vers leur sommet, une espèce de digue relevée sur le penchant des montagnes apennines, ayant leurs stratifications plus ou moins ouvertes, et recouvertes seulement d'un peu de terre végétale; le tuf et le terrain d'alluvion durci arrivent au pied du versant de ces collines.

A cause de cette position topographique, une partie des eaux qui sont tombées et se sont écoulées sur les vastes versants des monts Apennins et sur les collines inférieures, se sont annuellement infiltrées et s'infiltrent dans les terrains perméables, au milieu des roches de la formation du *Macigno* et du terrain subapennin, ainsi que dans les sables graveleux qui les surmontent, et ont produit, sous tout le bassin, trois dépôts d'eau distincts, superposés l'un à l'autre. C'est là un fait entièrement visible et par conséquent incontestable.

En effet, sur le territoire de *S.-Martino*, dans une dépression où les roches du *Macigno* sont à découvert, des fissures du terrain jaillissent des eaux abondantes et limpides, qui forment la petite rivière de la *Tofara*. Sur le territoire de *Montesarchio*, les sources qui produisent le petit ruisseau nommé *Fontanelle*, qui conflue dans le fleuve *Faenza*, sont formées par l'eau qui sort des fissures des marnes bleues du terrain subapennin; le même terrain donne issue à l'eau des dix principales sources du *Fizzo*,

sur la commune de *Bonea*, et à celle qui produit le ruisseau appelé *Padula*, qui se jette dans le même fleuve. Sur le territoire de *Cervinara*, ensuite, au point appelé *Pozzuoli*, des fissures du tuf volcanique sort l'eau qui donne naissance à un autre ruisseau tributaire du fleuve *Faenza*. Enfin, dans la vallée de *Mojano*, sur les rives du *Pastorano*, des sources, alimentant douze ruisseaux qui se versent dans le susdit fleuve, ont la même origine.

En outre, dans les excavations des puits qui existent sur tant de points divers du bassin, dans ceux qui traversent tout le tuf volcanique, l'eau sort du sable graveleux qu'il recouvre; elle sort également de ces sables dans les puits creusés en pleine alluvion. Il existe enfin quelques puits foncés jusque dans les marnes bleues du terrain subapennin, d'où l'on voit jaillir l'eau que contiennent les sables de cette formation.

De tous ces faits visibles il résulte qu'un banc de sable, mêlé de gravier calcaire tout imprégné d'eau, existe sous toute la superficie du bassin, à une profondeur moyenne de 4 mètres, que deux autres masses d'eau doivent se trouver, l'une dans le terrain subapennin, l'autre dans la formation du *Macigno*, et, peut-être, une quatrième entre le *Macigno* et le calcaire apennin. Cela étant, il est intéressant de découvrir comment une partie de ces eaux arrive naturellement à jaillir à la surface du sol, et pourquoi elles sont sujettes à de grandes variations de volume.

Celles de ces eaux, qui se trouvent dans le *Macigno* et dans le terrain subapennin, renfermées au milieu des sables et graviers dans les marnes argileuses imperméables, sont au-dessous de la ligne de température invariable de la localité, et, comme elles ont leur origine sur les bords élevés du bassin, elles doivent être continuellement soumises à une forte pression hydrostatique, dans la partie la plus basse du bassin. L'eau qui se trouve au-dessus du terrain subapennin dans ce sable graveleux, et qui est recouverte par le terrain d'alluvion durci et par le tuf volcanique,

reste au-dessus de la ligne de température invariable de la localité, et comme elle a son origine à la base des collines qui circonscrivent la partie abaissée dudit bassin, elle n'est soumise qu'à une pression hydrostatique limitée. Sous l'influence de la chaleur de l'air, pendant l'été, et par l'action directe du soleil, une partie de cette eau se transforme en vapeur et l'autre est absorbée par le terrain supérieur desséché.

Les terrains qui contiennent ces eaux, soit par suite de soulèvements à l'origine de leur formation, soit à cause de secousses et chocs souterrains produits par les tremblements de terre, doivent être coupés, normalement à leur masse, par des fentes qui donnent passage à l'eau. Mais ces ouvertures, que comporte chaque terrain, sont certainement difformes et tortueuses, et non pas d'aplomb entre un terrain et l'autre; elles ne constituent donc pas un conduit vertical qui se poursuivrait du *Macigno* à la surface du sol.

Les eaux en question ne forment pas, dans l'étendue souterraine du bassin, un lac continu; elles se trouvent dans de grands bancs de sable et gravier couverts par des terrains de forme concave superposés les uns aux autres et pendant d'orient en occident dans le sens de la longueur du bassin. C'est donc dans cette direction que doit couler l'eau, mais sous forme d'une multitude de petits filets séparés par les petits grains de sable et de gravier, et superposés les uns aux autres.

Or, comme l'eau qui est le plus au fond de la concavité se trouve soumise à la plus grande pression hydrostatique verticale et oblique, elle reçoit une impulsion continue qui la fait, en majeure partie, couler le long de la pente du terrain inférieur, tandis que la plus petite quantité se soulève au-dessus de son niveau pour se frayer un passage par les ouvertures qu'elle rencontre; c'est celle-ci qui jaillit à fleur de terre sur les plans inclinés latéraux, dans la partie moyennement abaissée du bassin, et y pro-

duit les quelques petits ruisseaux qui forment et alimentent le fleuve de *Faenza*, et les sources de *Fizzo*.

La pauvreté du jaillissement d'eau sur toute l'étendue du bassin doit provenir de ce que l'eau contenue dans le terrain du *Macigno* ne peut s'élever directement à la surface du sol. En effet, lorsqu'elle s'introduit dans les fissures difformes qui existent à travers le terrain supérieur, elle se met en communication d'abord avec l'eau de la nappe du terrain tertiaire, et ensuite avec celle qui se trouve au-dessous du tuf volcanique et du terrain d'alluvion ; il y a donc un niveau d'équilibre, moyenne des niveaux qui seraient dus aux diverses pressions agissant séparément sur chacune des eaux ; ce niveau se trouve beaucoup plus bas que celui auquel arriverait isolément l'eau de la nappe du fond, et plus haut que celui auquel l'eau de la nappe supérieure pourrait monter isolément. Cette eau ne jaillit donc qu'à la surface du sol, un peu au-dessous, dans les seuls points où elle trouve une sortie facile ; et son volume n'est qu'une très-petite fraction des deux masses inférieures.

Quant à la manière dont se produit le phénomène qui, en toute saison de l'année, fait que les eaux, pendant certaines périodes, jaillissent peu à la surface du sol, et, pendant d'autres, y arrivent en abondance, on croit, par tradition, que ce volume est proportionnel à la quantité de pluies et de neiges tombant annuellement sur le bassin et sur les montagnes appennines qui l'entourent. Sans révoquer en doute l'influence de cette cause, je crois qu'elle n'est pas la raison unique de ces variations.

J'appuie mon opinion sur la démonstration faite précédemment au sujet des variations de volume de la *Bolla*, et sur ce fait, que les deux masses d'eau inférieures qui produisent les sources en question, doivent être, par suite de leur origine et de leur alimentation, tellement considérables que, quelque réduite que soit leur alimentation annuelle, cette diminution ne peut avoir d'influence

sur le débit des sources qui jaillissent à la surface du sol. La cause doit donc être toute différente.

Il semble que ce phénomène soit l'effet du régime des eaux souterraines, des perturbations auxquelles elles sont sujettes, et de la manière dont elles viennent jaillir à la surface du sol.

Ces eaux, mélangées dans leur état naturel avec les sables et graviers qui les renferment, doivent être en agitation continue par suite du courant de la majeure partie d'entre elles sur le plan incliné du terrain inférieur, et de celui de la plus petite quantité qui s'élève verticalement, et sort par les ouvertures naturelles. Deux faits peuvent dériver de cet état de choses.

La portion de l'eau qui s'élève verticalement de chaque masse de sable ou de gravier doit en entraîner la partie la plus fine; on peut le vérifier aux abords des sources du *Fizzo* et du *Faenza*. La ville de Naples est obligée, chaque année, de faire enlever avec soin ces masses de sable et de détritus de gravier calcaire rejetées par les eaux des nappes souterraines, qui finiraient par paralyser l'écoulement des sources.

Or, si cela arrive au débouché des sources, des effets semblables doivent nécessairement se produire dans les canaux irréguliers et tortueux par lesquels l'eau s'élève; une portion des matériaux entrainés s'y accumule et le jaillissement s'affaiblit de plus en plus. La quantité d'eau qui s'élève par ces conduits étant sensiblement diminuée par l'obstruction des fissures verticales, celle qui coule sur le plan incliné des terrains inférieurs doit acquérir une vitesse plus grande; cette eau, entraînant avec elle une quantité de sable et de gravier plus considérable qu'à l'ordinaire, peut, avec le temps, produire des vides souterrains de nature à déranger l'équilibre des terrains supérieurs, à produire l'agrandissement des fissures anciennes, à en former même de nouvelles et à rétablir l'ancien système de choses, c'est-à-dire l'abondance des eaux qui s'élèvent au-dessus du sol.

Il peut, en outre, exister une force étrangère capable de produire des effets beaucoup plus importants que ceux ci-dessus décrits.

En effet, les eaux souterraines, quand elles ne sont pas troublées par les tempêtes qui se font sentir à la surface du globe, le sont par celles qui agitent les entrailles de la terre, et particulièrement par les tremblements de terre. Ce phénomène, quand il se développe avec force, se communique immédiatement à des distances immenses, et produit de grands désastres. Mais, heureusement, les terribles effets qui détruisent les villes, soulèvent et abaissent d'immenses étendues de territoires, font disparaître les sources existantes et donnent issue à de nouvelles, dans des endroits où il n'y en avait jamais eu, se font rarement sentir. Il n'en est pas de même des petites secousses terrestres, qui sont, au contraire, fréquentes; bien qu'on ne les sente pas toujours et qu'elles ne produisent aucun dommage à la surface du sol, elles occasionnent néanmoins de notables perturbations intérieures.

Quand les légères secousses se produisent, soit horizontalement, soit verticalement, elles ne modifient en rien les terrains compactes et solides; mais elles agitent les eaux souterraines et les terrains sans cohésion qui les renferment (1), et peuvent, dans le sens de leur direction, produire le transport et le tassement des terrains plastiques, argileux et marneux. C'est peut-être par cette cause que se produisent de temps en temps les éboulements inattendus des marnes argileuses plastiques de la formation subapennine, le long des versants de la chaîne de montagne de *Lon-*

(1) On sait que l'eau du puits de Grenelle, à Paris, trouvée à la profondeur de 547 mètres, après avoir rejeté pendant longtemps du sable et des argiles, finit par acquérir une limpidité parfaite. Mais, dans la nuit du 23 au 24 décembre 1843, l'eau devint trouble, et cet état dura jusqu'au 21 au soir. On apprit bientôt qu'un tremblement de terre avait eu lieu simultanément à Cherbourg et à St-Mâlo, à une distance d'environ 300 kilomètres de Paris, le 22 à quatre heures de l'après midi (*Académie des sciences de Paris*, *séance du* 8 *janvier* 1844).

gano, de *S.-Agata* aux ponts de la *Valle*, ce qui occasionne les dégradations du canal *Carmignano* et de l'aquéduc *Carolino*, qui sont en grande partie construits dans ces marnes argileuses. Les mêmes marnes, qui, dans la partie concave du bassin, ont leur pendage de l'est à l'ouest, peuvent être légèrement dérangées dans leur gisement par l'action des tremblements de terre, et resserrer ou ouvrir en s'entassant les fissures existantes, en produire de nouvelles qui laissent un plus grand passage à l'eau, et ramènent une période de débit abondant.

A l'appui de cette théorie, nous rappellerons qu'en 1851 régnait une période de très-grande diminution, mais, après l'horrible tremblement de terre qui s'est fait sentir le 14 août 1851 dans la région volcanique du *Vulture*, il survint dans le jaillissement des sources une grande amélioration, qui dura de 1852 à 1857. Au contraire, les épouvantables secousses qui se produisirent le, 16 décembre 1857 dans les districts de *Sala* et de *Potenza*, provoquèrent une diminution subite des eaux en question, telle que, le lendemain 17, l'eau du canal *Carmignano* et de l'aquéduc *Carolino* se trouva diminuée d'un tiers de la hauteur qu'elle avait le jour précédent. J'observai ce fait avec le gardien en chef du *Carmignano*, et on en donna communication aux préposés à la garde des eaux ; il est confirmé aussi par les registres que l'on tient dans les établissements, au *Fizzo* et dans ceux appartenant à la ville de Naples, où l'on inscrit chaque jour la quantité d'eau qui s'écoule. Cette diminution dure encore aujourd'hui. Elle a porté non-seulement sur les sources que nous venons d'examiner, mais aussi sur celles du fleuve *Sebeto*, sur celles qui produisent le *Lagno di Mofito*, sur celles du *Sarno* et sur beaucoup d'autres fleuves de notre pays.

IV

Moyens à employer pour éviter perpétuellement la pénurie dans le jaillissement des eaux des sources à la surface du sol.

Après avoir étudié avec soin les terrains du bassin en question, la forme sous laquelle les eaux s'y trouvent renfermées, les causes qui les font, dans le même temps, couler suivant la pente des terrains imperméables sur lesquels elles se trouvent, s'élever et pénétrer dans les fissures du terrain supérieur pour venir jaillir à la surface du sol ; après avoir recherché avec le même soin les causes des grandes variations de leur débit, il est facile de trouver un moyen pour rendre ce débit abondant et invariable : c'est de faire arriver ces eaux par des puits forés.

Par les forages des deux puits artésiens exécutés dans la ville de Naples, nous avons des données certaines sur l'état de l'eau dans la formation du terrain subapennin et dans celle du *Macigno*, ainsi que sur la force d'ascension que chaque nappe rencontrée possède pour s'élever d'une grande profondeur à la surface du sol, ce qui ne peut être révoqué en doute, et montre clairement ce que l'on peut obtenir en creusant des puits à travers les terrains identiques qui forment le bassin dont nous nous sommes occupé et que l'on retrouve le long d'une partie du canal de Carmignano.

En effet, si l'on creuse des puits aux points convenables de la partie abaissée du bassin, et qu'on les approfondisse jusqu'aux sables aquifères du terrain subapennin, l'eau doit, en vertu de sa pression hydrostatique, arriver abondamment et continuellement à la surface du sol ; et l'on en obtiendra une plus grande quan-

tité encore, en approfondissant les sondages jusque dans les sables aquifères du *Macigno*. Mais il convient de faire ces puits de telle façon que l'on puisse y placer une forte colonne d'ascension en cuivre, de $0^{m}.25$ de diamètre, et que l'espace vide annulaire, qui la séparera dans toute sa longueur de la paroi du forage, puisse être rempli de bon ciment hydraulique, pour que l'eau n'ait d'issue que par l'intérieur de ce tubage.

On n'a pas à craindre que l'eau souterraine ne monte pas par les puits forés, puisqu'elle circule et jaillit actuellement par des fentes ou fissures plus ou moins obstruées. Trouvant, au contraire, toute facilité pour sortir de la prison dans laquelle elle est renfermée, elle établira son courant ascensionnel dans les forages, ce que démontrent les deux sondages de Naples. Les puits forés ne peuvent pas non plus, dans leur hauteur, être rétrécis ou dérangés de leur position, et ils sont beaucoup moins susceptibles de s'obstruer par suite des mouvements du sol; ces puits, continuellement remplis d'eau, devenant pour ainsi dire des corps solides non compressibles, et devant, parce qu'ils sont perpendiculaires aux couches de terrain, suivre, sans perdre sensiblement de leur verticalité, les mouvements du sol. L'eau, qui parcourt les tubes de métal polis et larges, ne peut pas non plus les obstruer par les sables et graviers qu'elle entraîne avec elle, lorsqu'elle vient à être troublée dans son gisement naturel; elle les rejette, au contraire, en jaillissant au-dessus du sol. Ces faits sont parfaitement démontrés par une multitude de puits forés dans de semblables terrains, qui existent en Europe depuis plus d'un siècle.

Le canal de *Carmignano*, de *S.-Agata de' Goti* jusqu'aux ponts de la *Valle*, sur une longueur d'environ neuf kilomètres, se trouve souterrainement établi à mi-côte de la série de collines et monticules qui se relèvent sur le versant de la chaîne de montagnes de calcaire apennin, dite de *Longano*. Ce terrain est aussi

très-convenable pour l'obtention d'eaux jaillissantes au moyen de puits forés, parce que la chaîne de montagnes apennines forme le côté gauche de la vallée appelée de *la Valle*, qui est fermée du côté droit par une autre chaîne de même nature. La formation des monticules et collines se voit distinctement : elle se compose de roches du *Macigno*, qui reposent sur le calcaire apennin, de terrain subapennin, qui se relève sur celui du *Macigno*, et de tuf volcanique, qui, du versant du terrain subapennin, se prolonge dans la partie concave de la vallée. De la formation et de la conformation de ces trois groupes de terrain, il résulte que, dans chacun d'eux, se trouve une grande abondance d'eau à l'état latent, puisque dans les petits vallons qui sillonnent le versant des collines et monticules en un grand nombre d'endroits, on voit l'eau sortir des fissures de chacun de ces terrains et y produire de petits ruisseaux.

On conçoit que d'après cette disposition favorable du bassin, et d'après celle des monticules et collines à travers lesquelles coule le canal *Carmignano*, on peut, au moyen de puits forés, augmenter de beaucoup et pour toujours l'eau du fleuve *Faenza*, dans lequel celle du *Carmignano* a son origine, ainsi que celle du *Fizzo*, qui alimente la cascade de *Caserta*. On peut, de plus, accroître encore l'eau que conduit le canal *Carmignano* en forant des puits le long de son parcours, de *S.-Agata de' Goti* aux ponts de la *Valle*.

Je crois que pour augmenter et rendre invariable le volume des sources qui forment le fleuve *Faenza*, il suffit de creuser quatre puits en certains points, parce que, comme il n'est nécessaire de ne prendre l'eau de ceux-ci qu'à une hauteur suffisante pour qu'ils puissent se déverser dans le fleuve *Faenza*, et non à la hauteur à laquelle l'eau souterraine peut jaillir, ces puits donneront toute la quantité d'eau que la masse souterraine peut débiter, c'est-à-dire environ 1,800 litres par minute pour chaque

puits; je suppose qu'il suffirait de forer deux autres puits sur le parcours du *Carmignano*, de *S.-Agata* aux ponts de la *Valle*, pour augmenter son volume dans les proportions qu'on désire lui donner.

Il serait d'une grande utilité pour Naples d'avoir constamment le double du volume d'eau minimum que le *Carmignano* y apporte aujourd'hui. On pourrait obtenir alors l'antique section de l'eau destinée aux fontaines publiques et aux particuliers, qui était de 0m.80 de hauteur sur 0m.142 de largeur et qui, depuis 1819, se trouve réduite à 0m.475 de hauteur sur la même largeur 0m.142, sans pression. Le surplus de ce volume serait employé à faire mouvoir des moulins, dont on augmenterait le nombre, ce qui serait de la plus grande utilité pour la population, et procurerait à la ville de Naples, leur propriétaire, un revenu annuel de 347,800 fr., soit 173,900 fr. d'augmentation, sur le revenu des quatre établissements existants.

Il conviendrait de faire un premier sondage pour connaître les accidents que présente, dans leur ensemble, chaque groupe de terrain, les difficultés qu'ils offrent pour les traverser, et les moyens à employer pour les vaincre, et surtout pour s'assurer si la quantité d'eau qui peut être débitée par la nappe du terrain subapennin est suffisante pour satisfaire les besoins, ou s'il convient mieux de pousser les sondages jusqu'à la rencontre de l'eau qui se trouve dans le groupe du *Macigno*. Les autres pourront être ensuite exécutés plus facilement, plus vite et plus économiquement.

Pouvant ainsi, par le moyen de puits forés, obtenir le double avantage d'avoir, dans Naples, un volume abondant et invariable d'eau du *Carmignano* pour les usages d'utilité publique, et d'en retirer un revenu annuel assez fort, j'ose d'autant plus espérer que l'on en fera immédiatement entreprendre l'exécution, que l'augmentation du revenu permettra de compléter les travaux

destinés à amener à Naples la totalité de cette eau dans toute sa pureté.

La première partie du canal découvert de *Carmignano*, sur une longueur de 1,487 mètres, de son origine à la *Catena*, au point appelé *il Rumore*, précédant *S.-Agata de' Goti*, se trouve maintenant convertie en un véritable aquéduc maçonné et couvert. Il ne présente que d'uniformes et légères courbes saillantes et rentrantes, réunies par des lignes droites, un pendage constant, et une section de $1^{m}.19$ sur $1^{m}.72$.

On doit ensuite restaurer et rectifier le canal souterrain en maçonnerie, de la longueur de 11,900 mètres, depuis *il Rumore* jusqu'au moulin de *Maddaloni*.

Ce second travail, pour lui donner, dans toute sa longueur, l'uniformité de forme, section et pendage, qu'il est loin d'avoir aujourd'hui, est difficile à effectuer, parce que, pour substituer aux détours trop prononcés, aux coudes et dépression du canal, des courbes légères et bien entendues, il faut, avec une autre allure, le construire sur les roches solides du *Macigno*, et non, comme il est actuellement, à travers les marnes argileuses, généralement plastiques et fendillées, qui forment le versant des monticules et collines situés le long de la chaîne de montagne de *Longano*. Cependant, bien qu'on ne puisse activer ces travaux pendant la saison d'hiver, à cause des torrents de pluie qui coulent sur le versant des montagnes et empêcheraient l'ouverture de la tranchée, l'œuvre peut être terminée en trois ans, si l'on y consacre une somme suffisante.

La construction de l'aquéduc qui doit, en remplacement de la rivière actuelle, conduire l'eau du *Carmignano*, de la décharge du moulin de *Maddaloni* jusqu'à Naples, avec un pendage et une section uniformes, et à la plus grande hauteur possible, est également un travail important par les obstacles qu'il faudra vaincre. Pour construire cet aquéduc et lui assurer une durée

de plusieurs siècles, il faut compter sur une assez grande dépense.

La formation et la conformation du sol à travers lequel il doit être établi présentent des difficultés naturelles. En effet, le territoire de *Maddaloni* à *Cancello*, se prolongeant jusqu'auprès du royal *Lagno di Mofito*, sur une longueur de 7 kilom. 1/2 environ, forme une plaine qui, du pied des Apennins, s'étend avec un pendage et des inflexions de niveau sensible jusqu'au *Lagno;* cette plaine est formée de tuf volcanique solide qui se trouve très-peu au-dessous du terrain végétal qui en forme la surface. Du *Lagno di Mofito* jusqu'aux royaux *Lagni*, commune d'*Acerra*, sur une longueur d'environ 4 kilomètres et demi, le terrain est très-déprimé, et forme une cavité de terrain d'alluvion plus ou moins sableux et durci. Des royaux *Lagni* jusqu'à *Salice*, commune de *Casalnuovo*, sur une longueur de 4 kilomètres et demi environ, le terrain s'élève au-dessus de la susdite vallée, pend de l'occident vers l'orient, et est formé de terrain d'alluvion, généralement très-tassé, qui recouvre le tuf volcanique. Du *Salice* à Naples, sur une longueur d'environ 6 kilomètres, le terrain, sur le versant des collines de *Poggio-Reale*, se compose de terrain d'alluvion généralement dur, recouvrant le tuf volcanique au-dessous du sol de culture.

A travers ces terrains, de *Maddaloni* à *Licignano*, sur une longueur de 16 kilomètres et demi environ, se développe la rivière difforme qui conduit l'eau du *Carmignano*, et, de *Licignano*, à Naples le canal souterrain *delle Fontane*, qui porte l'eau dans la capitale à une hauteur de $25^{m}.15$ au-dessus du niveau de la mer, et l'autre canal souterrain, conducteur de l'eau motrice des moulins, qui, à la première maison, à *Poxtenioro*, se trouve à 18 mètres au-dessus du même niveau. La rivière actuelle, qui arrive de *Maddaloni* à *Cancello*, sur un parcours d'environ 15 kilomètres, serpente suivant les pentes des monts

de *Cancello* et d'*Avella*, en passant par *Cimitile* et *Marigliano*, et arrive à *Licignano*, n'est plus telle qu'elle avait été faite par Carmignano. Le 16 décembre 1631, une grande éruption du Vésuve rompit et ensevelit cette rivière depuis *Avella* jusqu'à *Licignano*.

L'eau du *Carmignano*, comme je l'ai dit, se compose de celle du fleuve *Faenza* et d'une partie de celle de la cascade de *Caserta*, qui se jette dans la rivière du même nom, sur le territoire de *Monte de' Gori*, par un aquéduc construit un siècle et demi environ après que Carmignano eût porté l'eau du *Faenza* à Naples. C'est pour cela que le lieu où s'unissent les eaux a été nommé *Quota di livello* (augmentation du niveau). L'aquéduc à construire de *Maddaloni* à Naples devra prendre son origine en ce point *Quota*, qui, par son élévation au-dessus du niveau de la mer, et le pendage convenable et régulier à donner à l'aquéduc, fait que l'eau du *Carmignano*, à Naples, pourrait arriver à l'altitude de 39^{m}.68 au lieu de l'altitude actuelle de 23^{m}.13.

On doit surtout chercher à amener à Naples l'eau du *Carmignano*, salubre et abondante, et à obtenir que le volume destiné à faire mouvoir les moulins ait plus de chute qu'aujourd'hui, puisque l'eau destinée aux particuliers est reçue dans des vasques situées au fond des puits, beaucoup au-dessous de la hauteur du niveau actuel de l'eau.

Si l'on voulait ensuite faire arriver l'eau à Naples à la hauteur maximum de 39^{m}.68 au-dessus du niveau de la mer, l'aquéduc qui devrait la conduire de *Cancello*, où il serait établi sur le contour des pentes des montagnes de *Cancello* et d'*Avella*, passant par *Citimile* et *Marigliano*, devrait être dirigé vers *Casalnuovo*, comme l'était autrefois la rivière *Carmignano*, et, de là, porté à Naples, sur une longueur d'environ 28 kilomètres, à partir de *Maddaloni*. Ou bien encore, de *Cancello* jusqu'aux

Lagni royaux, commune d'*Acerra*, sur une longueur de 6 kilomètres, on devrait faire un pont canal au-dessus du sol, et, se dirigeant vers *Casalnuovo*, arriver à Naples, après un parcours de 22 kilomètres environ. Mais sans ce travail grandiose et très-coûteux, l'aquéduc du territoire de *Maddaloni* peut arriver tout droit à Naples, construit en partie au-dessous et en partie au niveau du sol, sa longueur se trouvant réduite à 21 kilomètres environ. Les eaux arriveraient ainsi à Naples à la hauteur de 30 mètres au-dessus du niveau de la mer, et les moulins disposeraient encore d'une chute de 12^{m}.43 de plus que celle d'aujourd'hui. Je crois, à cause de cela, qu'en bonne économie, ce parti serait préférable aux deux autres.

Toute l'eau, arrivant à Naples par un seul aquéduc uniforme et bien proportionné, devrait être reçue dans une tour, d'où on la distribuerait dans la ville pour les besoins de la population, et dans le canal des moulins communaux, auxquels elle doit servir de moteur. Or, comme cette eau motrice serait en quantité telle qu'on pourrait, avec une chute proportionnée, tenir constamment en mouvement 36 roues, il serait fâcheux de laisser perdre dans la mer un aussi grand volume d'eau, comme on le fait actuellement. Pour cela il faudrait supprimer les quatre établissements actuels et en construire trois nouveaux pouvant contenir les 36 roues, sur la route *Arenaccia*, où ils recevraient l'eau avec une chute de 7^{m}.65. L'eau, à sa sortie du dernier moulin, se trouvant à 7^{m}.39 au-dessus de la mer, pourrait encore être concédée pour divers usages, et produire un revenu à la ville et un grand avantage aux concessionnaires.

Il est certain que, vers le milieu du dernier siècle, nos eaux potables furent reconnues insuffisantes pour les besoins de la population ; en 1765, on fut obligé d'augmenter l'eau de la *Bolla*, comme je l'ai dit plus haut. Mais aujourd'hui, que notre capitale renferme plus de 500,000 habitants, les eaux de la

Bolla et du *Carmignano* sont tout à fait insuffisantes, même en ne tenant pas compte des causes de diminution.

Au commencement de notre siècle, le besoin d'augmenter nos eaux potables s'est constamment fait sentir. Des ingénieurs habiles et distingués ont, à diverses époques, projeté, pour y parvenir, les moyens et travaux que je rappelais en 1843, dans mon mémoire « *Sulle acque pubbliche potabili della Città di Napoli, e de' modi di aumentarle.* »

Deux ingénieurs reproduisent le projet fait par le Tavolario D. Pietrantonio Lettier par ordre du vice-roi D. Pietro di Toledo quand on entreprit l'agrandissement des constructions de la ville sur le mont *Echia* et sur le versant oriental de la colline de *S.-Elmo*. Ce projet avait pour but la restauration de l'aquéduc appelé *Claudio*, qui, dans le temps, avait porté à Naples les eaux de *Serino* et autres localités. Cette restauration est devenue, en quelque sorte, impossible, parce que le grand volume d'eau produit par les sources qui jaillissent aux pieds des monts de Serino se trouve, par concession royale, affecté à une série d'établissements hydrauliques industriels, de propriétés particulières, qui donnent un revenu annuel considérable ; l'expropriation, s'il convenait de la faire, coûterait des sommes énormes. En outre, toute l'eau destinée à augmenter celle du fleuve *Sabato*, sert, dans l'État de *Benevento*, à l'irrigation des champs et à la mise en motion des moulins ; enfin, parce qu'il serait trop cher de restaurer l'aquéduc sur une longueur d'environ 60 kilomètres.

Deux projets sont faits pour améliorer la conduite de l'eau du *Carmignano*, pour l'empêcher de se perdre, et l'avoir pure à Naples. Par l'un, datant de 1831, on se propose de construire un aquéduc en maçonnerie de *Maddaloni* à *Lucignano* en remplacement de la rivière actuelle, et de rectifier les deux canaux qui aboutissent à Naples, conservant au nouvel aquéduc les grandes

inflexions du niveau de la rivière, pour mettre les chutes à profit en construisant sur son parcours trois établissements divers. L'autre projet, fait en 1834, propose de rectifier l'aquéduc de *Carmignano*, de le construire en maçonnerie, entièrement couvert de *Maddaloni* à Naples, en en développant l'allure suivant la pente des montagnes de *Cancello* et d'*Avella* et, passant par *Cimitile* et *Marigliano*, de le faire arriver dans la capitale, comme autrefois la rivière *Carmignano*, pour éviter ainsi la partie basse de la vallée des *Regi Lagni* et avoir l'eau à Naples à une hauteur d'environ 13m.20 au-dessus du niveau de la mer. On se propose aussi de faire un aquéduc double de *Cancello* à Naples; le second aquéduc devait recevoir une autre quantité d'eau, non potable, celle du *Royal Lagno di Mofito*, qui se trouve par concession royale destinée à une quantité d'usages divers.

Toute l'eau du *Carmignano* aurait été destinée aux usages privés et distribuée par toute la ville, même dans les parties hautes sur lesquelles elle aurait été élevée au moyen d'une machine; l'autre eau eût été utilisée comme moteur, tant pour élever l'eau potable au niveau du plan de la route du Pont de la Sanita, que pour alimenter divers établissements hydrauliques industriels qui se seraient créés dans la partie basse de la ville. Mais dans aucun des deux projets il ne fut tenu compte des grandes diminutions auxquelles, de temps en temps, l'eau du *Carmignano* a été sujette depuis qu'elle arrive à Naples.

La ville de Naples, bâtie en amphithéâtre, s'élève du niveau de la mer à une hauteur d'environ 95 mètres, sans parler des communes de *Capodimonte*, *Arenella*, *Vomero* et *Posilipo* qui sont beaucoup plus élevées; et, comme une plaine basse se trouve interposée entre la ville et les monts Apennins, les eaux, quoique provenant de hauteurs très-supérieures, ne peuvent jaillir, ni à la partie supérieure des maisons de la ville, ni sur les collines qui la surmontent. Cela est tellement vrai que, quand

l'eau de *Serino* y arrivait, elle ne pouvait s'élever dans la ville au-dessus de 42m.50 d'altitude, comme le prouvent les ruines des aquéducs appelés *Ponti Rossi*, qui la conduisaient, et que l'eau du *Carmignano*, au maximum, ne pourrait atteindre que la hauteur de 36m.96.

Par suite de la position topographique des habitations qui constituent l'ensemble des constructions de la ville de Naples, on doit généralement, pour recevoir l'eau potable, avoir au-dessous des habitations, au fond des puits, de grandes vasques, dans lesquelles l'eau se rend par des canaux souterrains.

Il est donc surtout important d'avoir l'eau de la *Bolla* et celle du *Carmignano*, abondantes et salubres, de manière à pouvoir en alimenter suffisamment toutes les habitations qui s'en servent actuellement, et la faire parvenir à celles qui en sont privées et qui constituent plus de la moitié de la ville.

Ce mémoire, exposition exacte des faits déduits de documents authentiques, résultat d'études et de recherches spéciales, a pour objet d'appeler l'attention de ceux dont le dessein est de conserver et d'améliorer le bien-être des populations sur l'état trop déplorable dans lequel se trouvent réduites les eaux de la *Bolla* et du *Carmignano*, et sur celui des œuvres d'art qui les conduisent à Naples ; enfin, de démontrer que les eaux qui servent à l'utilité publique sont insuffisantes, et, qu'en outre, elle ne sont pas toujours pures.

Je désire que les moyens que j'expose par philanthropie, pour avoir des eaux constamment abondantes et salubres, soient trouvés praticables par les savants, qui seuls peuvent les juger, et que la municipalité de la ville de Naples, dans l'intérêt public et dans le sien propre, les fasse mettre à exécution.

Il est juste également de pourvoir d'eau potable toute la région habitée de *Capodimonte*, *Arenella*, *Vomero* et *Posilipo*, ce qui, comme je le proposais dans un précédent mémoire, en 1843, peut

s'effectuer en creusant des réservoirs dans la masse du stuc volcanique. Ils seraient pavés au-dessus du sol et revêtus de stuc à l'intérieur ; on y introduirait les eaux de pluie qui coulent sur les vastes versants des collines superposées aux villages; puis, afin que les eaux pussent s'y clarifier en peu de temps, les réservoirs seraient formés de plusieurs compartiments de niveaux différents, pour que l'eau, s'y décantant d'une division à l'autre, arrivât claire dans la dernière pour être distribuée ensuite au moyen de canaux.

Cette pâle traduction du travail de M. Cangiano révèle un fait assez remarquable, c'est que l'homme qui a si savamment et si minutieusement étudié toutes les circonstances qui régissent les eaux souterraines dans leur parcours, reste, lorsqu'il s'agit de les mettre en communication avec la surface du sol, dans des dimensions que l'on pourrait regarder comme restreintes. Nous le voyons adopter le diamètre de $0^m,20$ pour les puits de la *Bolla* et celui de $0^m,23$ pour ceux du *Carmignano*. Sans connaître au juste les raisons qui ont déterminé M. Cangiano dans le choix de ces dimensions, nous sommes convaincu que les observations qu'il a pu faire sur les différents tubages du puits artésien du palais du Roi à Naples n'ont pas été sans influence sur sa détermination.

En effet, l'expérience démontre que le diamètre à donner aux colonnes d'ascension peut être assez restreint; et, sans tomber dans des dimensions trop réduites, on doit s'écarter des exagérations émises à ce sujet. Il est à regretter que le puits de Passy, objet de promesses, d'essais et de dissertations si curieuses de la part d'un certain monde savant, n'ait encore réalisé jusqu'à présent que

peu des promesses ou des opinions émises; et celles relatives au tubage eussent été des plus intéressantes. Là comme on le sait le diamètre de la colonne d'ascension ne devait pas être moindre de 0m.60, tandis qu'à Grenelle la dernière colonne introduite ne dépasse pas 0m.10; mais si par cette colonne de 0m.10, on n'avait obtenu qu'un écoulement de 3,000 litres par minute (au sol) par celle projetée de 0m.60, on annonçait l'irruption d'une rivière comparée quelquefois à une fraction importante de la Seine.

Nous avons eu à tuber d'assez beaux puits dans le terrain tertiaire parisien même et ailleurs; quelques-uns fournissent jusqu'à 1,200, 1,500 et 2,500 litres par minute. Après avoir eu leur écoulement primitif par des colonnes de 0m.16 ou de 0m.20, on y a descendu une colonne d'ascension de 0m.12, de 0m.10, quelquefois même de 0m.09 seulement; rien n'a été changé dans leur régime et ils ont même généralement augmenté. Cela, à vrai dire, dépend d'une construction plus soignée des colonnes d'ascension et surtout du bétonnage qui les entoure et empêche toute déperdition.

Dans une même localité deux puits distants de 15 mètres seulement, l'un foré au diamètre de 0m,16, l'autre au diamètre de 0m.27, nous ont donné des résultats parfaitement identiques.

Lorsqu'en 1856 nous eûmes à visiter les beaux puits arabes de l'oued R'ir (Sahara algérien) nous en rencontrâmes à Mégarin, à Sidi Rached et à Tamerna, dont le débit avait varié au beau temps de leur splendeur, entre 800 et 1,500 litres par minute. La section du puits amenant ces eaux était un carré de 0m.70 à 0m.90 de côté. Nous trouvâmes, sur les lieux mêmes, l'opinion émise que des sections de forage de 0m.18 à 0m.15 et 0m.13, seraient trop restreintes pour pouvoir fournir un volume d'eau comparable à celui fourni par les puits arabes, et que l'emploi de sections si réduites conduirait à augmenter dans une notable

proportion le nombre des trous de sonde capables de remplacer ces beaux puits en voie d'exécution. Il fallait, croyait-on, donner au moins 0m.30 ou 0m.40 de diamètre aux forages à exécuter. Nous ne partageâmes pas cette opinion qui eût entraîné l'entreprise naissante des forages au désert dans des difficultés et des dépenses beaucoup trop grandes. Car si la question d'exécution des forages à grands diamètres n'est pas une difficulté pour le sondeur, elle est et sera toujours le sujet d'un accroissement certain dans le poids et la valeur du matériel à employer ; or lorsqu'il s'agit de faire pénétrer un outillage de sondage en plein désert, la question seule des transports prend une grande importance. Elle est de nature sinon à entraver complétement les opérations, du moins à les compliquer d'une manière fâcheuse et à les rendre inutilement onéreuses. Nous résolûmes donc de donner aux forages qui devaient remplacer les puits arabes des diamètres de 0m.16 à 0m.20, comptant bien qu'ils étaient plus que suffisants pour débiter des volumes d'eau comparables ou même supérieurs à ceux fournis par les plus beaux spécimens de l'industrie arabe.

Le forage de Tamerna, le premier établi dans le voisinage du plus beau puits indigène, ne tarda pas à confirmer notre opinion. Par un diamètre de 0m.20, il débita, et cela continue depuis trois ans, 4,500 litres d'eau par minute, c'est-à-dire trois fois plus que son voisin, lorsqu'il était à l'apogée de son débit. Nous avons été, il est vrai, surpris par cette énorme quantité d'eau et avons un instant supposé que là, peut-être, le diamètre du forage était insuffisant et que ce chiffre de 4,500 litres d'eau par minute était un maximum limité par la section même du tube. De nouveaux puits démentirent cette croyance en donnant des résultats encore plus considérables par des colonnes ascensionnelles du même diamètre, et confirmèrent que le débit des nappes est beaucoup plus limité par la nature plus ou moins filtrante des couches

aquifères qui les contiennent que par le diamètre des tubes qui servent à leur écoulement.

Tout ceci porte donc à croire que les sondeurs sont restés assez généralement dans des limites à peu près convenables. Il y a plus, c'est que, si le diamètre de la colonne ascensionnelle est plus que suffisant, l'eau, en laissant même de côté la question du frottement sur des surfaces plus considérables, tendant à prendre une vitesse moins grande que celle qui l'animerait si elle était forcée de s'écouler par un tube de moindre dimension, ne possède plus l'énergie nécessaire pour soulever et rejeter au dehors les sables plus ou moins fins qui obstruent la nappe.

L'eau, contenue dans une couche perméable composée assez généralement de sables plus ou moins fins et plus ou moins stratifiés en raison des courants successifs qui les ont transportés, ou dans un terrain présentant des fissures plus ou moins libres ou des strates laissant entre elles des vides plus ou moins considérables, est soumise à une pression hydrostatique due à la différence qui existe entre les points d'infiltration et les points d'écoulement. Une partie de cette pression hydrostatique en vertu de laquelle les eaux tendent à s'échapper du sol soit par une source naturelle, soit lorsqu'on pratique un sondage sur un point plus bas que le niveau d'infiltration, est absorbée par le frottement que l'eau a à subir dans son parcours au travers des couches. C'est à cette cause qu'il faut attribuer les limites dans lesquelles se maintiennent les sources naturelles ou artificielles. Lorsque l'eau, contenue dans une couche aquifère, trouve à s'écouler par un forage pratiqué dans de bonnes conditions, il s'opère, par le fait même de l'écoulement, une succion plus ou moins vigoureuse sur les sables, fissures ou strates, dans lesquels elle circule, amenant le dégagement des filets aqueux qui viennent aboutir à la base du forage. Cette succion, en raison de son énergie, entraîne vers ce point les parties plus ou moins fines qui obstruaient la nappe, et, si la vitesse

de l'eau n'est plus suffisante pour les entraîner dans le tube et les rejeter au sol, il en résulte évidemment l'encombrement de la base du forage, encombrement qui, s'augmentant de plus en plus finit par paralyser complétement l'écoulement de la nappe. Lorsque ce fait a lieu, on est obligé de recourir aux moyens plus ou moins dispendieux de curage, quelle que soit la méthode par laquelle on l'exécute.

Nous avons vu précédemment que l'eau contenue dans les couches aquifères était soumise à une pression hydrostatique due à la hauteur de charge des points d'infiltration, et qu'elle s'écoulait plus ou moins vigoureusement en vertu de la plus ou moins grande différence qui existait entre ce niveau d'infiltration et celui d'écoulement, en tenant compte d'une certaine quantité absorbée par le frottement qu'elle a à subir dans les canaux souterrains. Cette dernière cause influe énergiquement sur les résultats obtenus; on doit lui attribuer les anomalies que l'on observe, par exemple, dans deux puits ayant une origine commune, des tubages identiques et leur origine d'écoulement à la même hauteur. Tandis que l'un d'eux donnera un volume d'eau considérable, son voisin donnera moitié moins. Evidemment cette différence tient essentiellement à l'état des canaux souterrains dans lesquels circule la nappe dans le voisinage immédiat du puits : car sans cette circonstance particulière le rendement devrait être le même. Ainsi les puits de Venise, dans un terrain d'alluvion, placés tous à un même niveau, ont donné des résultats essentiellement différents.

Jusqu'à présent on a toujours observé que l'ouverture de plusieurs puits sur un espace circonscrit n'augmentait pas le volume d'eau en raison du nombre des forages. Ainsi, chez M. le baron James de Rotschild, dans son beau domaine de Ferrières, nous avons creusé un certain nombre de puits jaillissants, dans l'espace resserré qu'occupe une nappe souterraine

au lieu dit de *l'abîme*. Chaque nouveau puits augmentait bien le total de l'eau obtenue, mais, au sixième, cette augmentation n'était plus que d'un quinzième. L'ouverture de chaque nouveau puits donnait lieu à une diminution sur les précédents. L'ensemble de tous ces puits n'a pas fourni plus de 250 litres par minute. Chaque colonne d'ascension était plus que suffisante pour débiter dix fois le volume total de l'eau déversée. La nappe étant faible, il y avait partage, mais une colonne unique, à grande section, n'aurait certainement pas donné un résultat aussi favorable.

Nous ferons remarquer encore que les nappes artésiennes présentent des phénomènes assez singuliers, lorsqu'il s'agit de mesurer, par des jaugeages, la puissance de leur rendement à différentes hauteurs. Quelques puits donnent à 1, 2, 3 ou 4 mètres au-dessus du sol, à peu près le même volume d'eau, et ne commencent à diminuer qu'au-dessus d'une certaine hauteur; d'autres, au contraire, diminuent presque subitement et quelquefois à 1m.50 ou 2 mètres atteignent leur niveau maximum; d'autre enfin, tout en diminuant rapidement, s'élèvent néanmoins à de grandes hauteurs.

De même que des puits, dans des conditions extérieures semblables, ne donnent que rarement des résultats identiques, de même, les expériences faites sur leur force ascensionnelle, présentent des anomalies dont on ne peut assigner les causes d'une manière certaine. Non-seulement les sondeurs, mais encore des hommes éminents et consciencieux, entre autre, M. Violet, ont cherché à établir quelques règles fixes sur la décroissance des eaux fournies par les sources artésiennes à mesure qu'on élève leur niveau. Parmi tous les résultats qui leur ont été fournis par l'étude et l'expérience, quelques-uns peuvent être regardés comme certains; d'autres, au contraire, sont tellement inconstants, qu'aucun calcul raisonnable ne peut être fondé sur une base

aussi incertaine, lorsqu'il s'agit de prévoir la puissance dynamique probable d'un puits à exécuter. Lorsque, pour les besoins de distribution, on est obligé de prendre l'eau d'un puits à une certaine hauteur au-dessus du sol, il en résulte le plus généralement une diminution dans le volume d'eau déversé, et, par suite, un ralentissement de sa vitesse ascensionnelle dans la colonne. Il n'est pas rare alors qu'au bout d'un certain temps il y ait dans le débit ordinaire un décroissement sensible dû, presque toujours, à un ensablement dans la colonne. Ce fait aujourd'hui se prévoit par avance, et le moyen que l'on emploie pour y remédier consiste à ménager sur le tube ascensionnel, au point le plus bas possible, un ajutage par lequel l'eau puisse avoir l'issue la plus favorable. La source ainsi soulagée de quelques mètres de pression prend une vitesse plus grande et charie immédiatement les sables qui l'encombraient. Lorsque l'eau est redevenue limpide, on ferme cet orifice inférieur et l'écoulement reprend son niveau ordinaire. Cette opération bien simple ne présente aucune difficulté ; il suffit que l'ouverture et la fermeture de l'issue inférieure se fassent lentement de manière à ne pas provoquer de réactions brusques, souvent pernicieuses dans des terrains peu solides.

De ces faits on doit donc conclure, suivant nous, qu'une colonne d'ascension doit être d'un diamètre suffisant, mais rester, autant que possible, en proportion avec le débit probable et naturel des nappes. Il y a fort peu d'inconvénients à ce qu'une colonne soit un peu petite, pourvu qu'elle ne paralyse pas les opérations imprévues mais possibles des instruments de sondages; nous croyons qu'il peut et doit s'en présenter de très-graves dans le cas contraire.

En Europe, jusqu'à présent, nous ne connaissons aucune nappe d'eau souterraine rencontrée par la sonde, qui ne puisse prendre son écoulement d'une manière convenable par des colonnes d'as-

cension de 0.m20 à 0.m25 de diamètre. Il y a plus, nous ignorons qu'aucune avaleresse de mine, même parmi les plus remarquables à ce sujet, qui, dans ses passages de niveau, ait eu à traverser des couches aquifères susceptibles d'amener naturellement au sol, par des sections de 3 et 4 mètres de diamètre, un volume d'eau incapable d'être maintenu dans les limites extrêmes que nous proposons. Parmi ces avaleresses, il en est cependant qui avaient à lutter contre des niveaux que des machines de 4 à 500 chevaux ne pouvaient épuiser qu'avec grand'peine, et qu'en quelques endroits elles ne purent même vaincre; on retirait jusqu'à 300 hectolitres par minute.

L'énorme succion opérée par de semblables pompes se faisait sentir sur les puits situés à plusieurs lieues de distance. Si, par suite d'accident, ou par toute autre cause, on arrêtait la marche des machines d'épuisement pendant un long délai, le puits se remplissait plus ou moins lentement, mais rarement jusqu'à la surface, lors même que la fosse se pratiquait dans le voisinage d'un sondage de recherches qui, pendant son exécution, avait donné des eaux jaillissantes.

En résumé, nous croyons qu'il est permis de tirer de tous ces faits des conclusions qui condamnent les dimensions adoptées au puits de Passy. Néanmoins, l'approbation donnée à un semblable travail par des hommes que l'opinion publique actuelle regarde, à juste titre sans doute, comme ses oracles, nous fait attendre avec quelque impatience la solution de ce travail, solution qui sera complète lorsque le sondeur, ainsi qu'il s'y est engagé, aura fait pénétrer sa sonde de vingt-cinq mètres dans la nappe aquifère que l'on a à peine pénétrée de quelques mètres à Grenelle (1).

(1) C'est en pénétrant de 30 à 40 mètres dans les alternances de grès et de sables qui constituent les grès verts à Tours, qu'il y a vingt-cinq ans M. Degousée a rencontré successivement 5 nappes jaillissantes.

Ce que nous venons de dire et les conclusions que nous en avons tirées ne constituent pas une théorie nouvelle et hasardée ; il y a longtemps que des hommes supérieurs, rendant compte de la théorie des puits artésiens, émettaient déjà des idées semblables. Voici ce que disait, il y a vingt-cinq ans, à ce sujet, M. Amédée Burat, tome III, page 625 de son traité de géognosie faisant suite à l'introduction de cette science, publiée en 1828 par M. d'Aubuisson des Voisins.

« Dans la plupart des circonstances, un puits artésien n'est « autre chose que la branche verticale d'un siphon, dont l'autre « branche peut être très-peu inclinée, et avoir par conséquent « son ouverture à de grandes distances. L'eau monte dans la « branche artificielle, c'est-à-dire dans le trou de sonde en rai- « son de l'élévation de la branche naturelle. Si cette branche « naturelle est plus élevée que la surface sur laquelle on établit « le puits artésien, l'eau jaillit par ce puits au-dessus de la sur- « face, sinon, elle lui reste inférieure : il faut, bien entendu, « tenir compte, en calculant la force ascensionnelle qui résulte « de cette reprise de niveau, *des frottements qui la contrarient,* « *lesquels seront en raison de la longueur des branches du siphon.* « Ces frottements limitent aussi la quantité d'eau qui peut être « déversée, de telle sorte que le pouvoir ascensionnel diminuera « généralement à mesure *que l'on augmentera le diamètre du* « *trou de sonde,* et tel courant d'eau souterrain, qui pourrait re- « prendre un niveau de plusieurs mètres au-dessus du niveau « du sol *dans un tube de quelques pouces de diamètre, s'arrê-* « *tera au contraire, au-dessous, lorsqu'on creusera un puits de* « *plusieurs pieds.*

Typ. Guiraudet et fils, place de la Mairie, 2, à Neuilly.

MÉMOIRES

ET

COMPTE-RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(AVRIL, MAI ET JUIN 1860)

N° 10

Pendant ce trimestre, on a traité les questions suivantes :

1° *Disque-signal pour chemins de fer, système Massé*, par M. Faure. (Voir le résumé de la séance du 27 avril, page 131.)

2° *Emploi du coke des cornues à gaz dans les hauts fourneaux des usines de Saint-Louis à Marseille*, par M. Cazes. (Voir le résumé de la séance du 27 avril, page 132.)

3° *Foyers à combustion mixte*, de M. Corbin Desboissière. (Voir le résumé de la séance du 27 avril, page 135.)

4° *De l'identité des agents qui produisent le son, la chaleur, la lumière, etc., etc.*, par M. Love. (Voir les résumés des séances des 4 et 18 mai, pages 138 et 144.)

5° *Disques signaux pour chemins de fer* (modifications proposées aux) par messieurs Desgoffe et Jucquau, note de M. Richoux. (Voir le résumé de la séance du 18 mai, page 149.)

6° *Moteurs à vapeur*, par M. Emile Barrault. (Voir les résumés des séances des 18 mai et 1er juin, pages 154 et 159.)

7° *Coulisse Stephenson*, par M. Desmousseaux de Givré. (Voir le résumé de la séance du 1er juin, page 162.)

8° *Situation financière de la Société*. (Voir le résumé de la séance du 15 juin, page 163.)

9° *Injecteur Giffard*, (analyse du Mémoire de M. Carvallo sur la théorie de l,.), par MM. Brüll et Ermel. (Voir le résumé de la séance du 15 juin, page 163.)

Pendant ce trimestre, la Société a reçu :

1° De M. Henri Fournel, ingénieur en chef des mines :

Un exemplaire d'une note sur la *Différence de consommation de la fonte blanche et de la fonte grise ;*

Un exemplaire d'un mémoire sur le *Chemin de fer de Gray à Verdun ;*

Un exemplaire de fragment de *Statistique minéralogique et métallurgique ;*

Un exemplaire d'une brochure sur un *Chemin de fer du Havre à Marseille, par la vallée de la Marne;*

Un exemplaire d'un *Examen de quelques questions de travaux publics ;*

Un exemplaire d'une notice sur la *Pierre asphaltique du Val-de-Travers ;*

Un exemplaire d'un rapport sur la concession de *Mine de Languin ;*

Un exemplaire d'un *Aperçu du travail des hauts fourneaux dans quelques Etats de l'Amérique du Nord ;*

Un exemplaire d'une consultation sur la concession des *Mines de Seyssel ;*

Un exemplaires d'un rapport sur la *Concession de Grigues et la Taupe* (Bassin du Brassac);

Un exemplaire de son étude sur la *Conquête de l'Afrique par les Arabes;*

Un exemplaire de son ouvrage intitulé : *Richesse minérale de l'Algérie;*

2° Les numéros de novembre 1859 et de janvier 1860 du Bulletin de l'*Institution of Mechanical Enginers;*

3° Un exemplaire d'une brochure intitulée : *Steam Boiler Explosions;*

4° Les numéros de février, mars, avril et mai des *Annales des conducteurs des ponts-et-chaussées;*

5° Les troisième et quatrième livraisons de 1859 des *Annales des mines;*

6° Un exemplaire d'une brochure sur le *moyen de réduire le nombre des naufrages le long des côtes;*

7° De M. E. Noblet, éditeur, les deux premières livraisons de 1860 de la *Revue universelle des mines et de la métallurgie;*

8° Un exemplaire d'une brochure sur le *minium de fer;*

9° De M. Desnos, les numéros de mars, avril, mai et juin du journal l'*Invention;*

10° Les numéros de février, mars, avril et mai des *Annales forestières et métallurgiques;*

11° Les numéros de février, mars, avril et mai du *Bulletin* de la *Société industrielle de Mulhouse;*

12° De M. Jacquin, un exemplaire de son *Album des chemins de fer;*

13° De M. Eugène Péreire, un exemplaire de ses *Tables Logarithmiques pour le calcul de l'intérêt composé des annuités et des amortissements;*

14° *De la Société d'encouragement*, un exemplaire de son *Bulletin* des mois de février, mars et avril 1860;

15° De M. César Daly, les numéros 7, 8, 9, 10, 11 et 12 de la *Revue d'architecture ;*

16° De M. Hauchecorne, un exemplaire de ses *Tableaux statistiques des chemins de fer ;*

17° Les numéros de mars, avril, mai et juin des *Annales Télégraphiques ;*

18° Les numéros 1, 2 et 3 de la *Revue des Ingénieurs autrichiens ;*

19° De M. Lefrançois, membre de la Société, une note sur *les chaux, les ciments et les mortiers ;*

20° *De la Société Impériale et Centrale d'agricultur*, un exemplaire de son dernier bulletin ;

21° Les numéros des 3e et 4e trimestres de 1859 des *Mémoires de la Société d'agriculture de l'Aube ;*

22° De M. Stéphane Mony, membre de la Société, des exemplaires d'une note sur le *Complément des voies de communication dans le centre de la France ;*

23° De M. Boudsot, membre de la Société, un exemplaire d'un rapport intitulé : *Etudes Géologiques sur le Jura Neuchâtelois*, par MM. Desor et Gressly ;

24° De M. Oppermann, les numéros d'avril, mai et juin des *Nouvelles annales de la Construction* et du *Porte feuille économique des machines*, et les nos de mai et juin de l'*Album pratique de l'art industriel ;*

25° De M. De Comberousse, membre de la Société, un exemplaire de son *Cours de Mathématiques à l'usage des candidats à l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures ;*

26° *De la Société de l'Industrie minérale*, le numéro du 4e trimestre 1859 de son bulletin ;

27° De M. Cazes, membre de la Société, une note sur *l'Emploi du coke des cornues à gaz dans les hauts fourneaux ;*

28° De M. Huet, membre de la Société, une note sur *quel-*

ques gîtes des provinces Basques et de la province de Santander ;

29° De M. Emile With, un exemplaire d'une notice *sur les chemins de fer de la Confédération germanique ;*

30° De M. Robert, professeur adjoint à l'Ecole centrale : 1° *Un exemplaire de la collection d'organes de Machines, donnés au cours de* M. Lecœuvre ; 2° *deux années des travaux de vacances des élèves de 2me et de 3me année ;*

31° De M. E. Noblet, éditeur, les 58, 59, 60, 61 et 62° livraisons du *Portefeuille de John Cockerill ;*

32° Les numéros 45 et 46 du bulletin de la *Société vaudoise des sciences naturelles ;*

33° De M. Bonnet Félix, membre de la Société, une note sur l'*Injecteur Giffard ;*

34° Rapport et résolutions de la cinquième assemblée générale de la *Société autrichienne des chemins de fer de l'Etat.*

Les membres nouvellement admis pendant ce trimestre sont les suivants :

Au mois d'avril,

MM. Bélanger, présenté par MM. Faure, Nozo et Arson.
Delon, présenté par MM. Bellier, Mathieu Henri et Tronquoy.
Desmousseaux de Givré, présenté par MM. Faure, Nozo et Germon.
Fèvre (Henri), présenté par MM. Mathieu (Henri), Nozo et Fèvre.
Flaud, présenté par MM. Faure, Laurent et Durenne.
Giffard, présenté par MM. Faure, Laurent et Boivin.

Gislain, présenté par MM. Faure, Leconte et Vuigner.
Hamers, — par MM. Faure, Laurent et Guibal.
Le Laurin, — par MM. Faure, Desbrière et Muller
Marché, — par MM. Callon, De Dion et Nepveu.
Monnot, — par MM. Faure, Peligot et Ser.
Noisette, — par MM. Flachat, Vuigner et Crétin.
Riche, — par MM. Faure, Loustau et Petit de Coupray.
Rocaché, — par MM. Faure, Callon et Houel.
Vidal, — par MM. Forquenot, Callon et Pètre.

RÉSUMÉ DES PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

PENDANT LE 2e TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1860

SÉANCE DU 27 AVRIL 1860

Présidence de M. LAURENS, *vice-président.*

M. FAURE dépose sur le bureau, au nom de M. Desmousseaux de Givré, un mémoire traitant de la coulisse Stephenson.

M. Faure présente ensuite à la Société un modèle d'un nouveau disque-signal pour chemins de fer, inventé par M. Massé, accompagné de dessins et d'une note explicative.

Cet appareil se compose d'un mât central porteur du disque; ce mât repose, par sa partie inférieure, sur une pièce horizontale, sorte de croisillon dont deux branches sont, à leurs extrémités, munies de galets susceptibles de tourner dans les gorges héliçoïdales d'un anneau en fonte, solidement fixé sur le châssis en bois supportant tout l'appareil.

Chacune de ces gorges diamétralement opposées présente la même pente de $0^m.025$ en sens contraire, suivie d'arrêts pris dans le prolongement du cylindre. Aux deux branches supérieures du croisillon sont attachés les fils de fer qui s'accrochent par l'autre bout au levier de manœuvre à égale distance de l'axe de rotation.

Une ou plusieurs bagues suivant la largeur du mât sont portées par les quatre montants en fer qui l'entourent et servent à le maintenir verticalement. La manœuvre se réduit à faire décrire un certain arc, à ramener ainsi les galets d'une position extrême à l'autre. Dans la première partie de leur course, ceux-ci montent une rampe qu'ils descendent dans la seconde. La rampe de $0^m.025$ est calculée de telle sorte qu'aucun arrêt produit par des aspérités accidentelles, qu'aucun choc nuisible ne puissent se produire.

Ainsi le mât entraîné dans la rotation des galets tourne avec son disque toujours de $\frac{1}{4}$ de circonférence et jamais d'une fraction de ce $\frac{1}{4}$ seulement.

Les avantages de ce disque sont :

1° De ne coûter, d'après le devis, que 379 f. 23, y compris le fil de fer ;

2° De donner toujours le signal parfaitement et complétement, les galets ne pouvant s'arrêter qu'au bas des rampes ;

Or ces deux positions correspondent aux deux positions uniques du disque ;

3° Les fils ne devenant nécessaires que pour la manœuvre, et non en même temps pour le maintien du disque une fois placé, leur dilatation, si le levier est assez long, n'a aucun effet sur le bon fonctionnement de l'appareil ;

4° L'action du fil n'étant pas permanente, les ruptures sont moins fréquentes ;

5° Les facilités d'entretien et de manœuvre.

Les résultats obtenus sur la ligne de Charleville (Ardennes) ont été très satisfaisants.

M. Guillaume fait remarquer que l'appareil dans son mouvement sur les parties héliçoïdales est forcé d'entraîner le second fil, ce qui peut empêcher les galets d'arriver au bas de leur course.

M. Cazes donne communication d'un mémoire sur l'emploi dans les hauts fourneaux du coke des cornues à gaz (usine de saint Louis, Marseille).

Jusqu'à présent le coke provenant de la fabrication du gaz avait été considéré comme impropre à la fabrication de la fonte. Des expériences commencées depuis plus de deux ans et continuées sans interruption jusqu'à ce jour aux hauts fourneaux de Saint-Louis, près Marseille, par l'initiative de MM. A. Burat, ingénieur du conseil, et P. Briqueler, directeur de l'exploitation des gaz et hauts fourneaux de Marseille, paraissent prouver que ce coke convenablement employé peut rendre les mêmes services qu'un coke provenant d'une fabrication spéciale.

L'usine de Saint-Louis, créée par la Société J. Mirès et C°, propriétaire des houillères de Portes et Sénéchas, et concessionnaire de l'éclairage public et privé de la ville de Marseille, devait amener à la fois l'écoulement des menus de la houillère et des excédants de coke de l'usine à gaz d'Arenc, si l'emploi de ceux-ci était reconnu possible.

Les essais commencèrent au mois de janvier 1858, au haut fourneau n° 1, sous la direction de M. C. Gaulliard.

Les chiffres suivants sont empruntés à une note adressée au mois de décembre 1858 à la Société de l'Industrie Minérale.

Le fourneau avait une bonne allure de fonte grise de moulage n^{os} 1 et 2. La charge était de 360 k. minerai, 325 k. coke de Portes, les buses au nombre de deux de 74 millimètres de diamètre, la pression du vent mesurée aux tuyères de 8 centimètres de mercure, la température moyenne de l'air lancé de 300° centigrades environ, les laitiers blancs bleuâtres, très-chauds, courts, demi-pierreux, et offrant une composition moyenne 0.40 silice, 0.39 chaux, 0.20 alumine, 0.01 au maximum oxyde de fer, composition qui, avec les minerais employés à Saint-Louis (Ile-d'Elbe, Espagne, Toscane), correspond aux fontes de moulage les plus chaudes et les plus résistantes. La production journalière était de 14 tonnes, la consommation de coke de 1,400 k. par tonne de fonte, et la résistance au choc très-considérable. L'essai se faisait avec l'appareil ordinaire. Poids du boulet 12 k., dimension du barreau d'essai coulé en sable d'étuve 0.20, 0.04, 0.04. Poids de l'enclume 9 k. espacement des arrêtes des couteaux 0.16, le barreau reposant sur les couteaux recevait le choc du boulet en son milieu. La rupture par un seul choc ne se produisait que sous une hauteur de chute de 1^{m}20 à 1^{m}40, et par chocs successifs espacés de 0^{m}05 en partant de 0^{m}50, sous une chute de 0^{m}85 à 1^{m}00 après 8 à 11 chocs.

C'est dans ces conditions que la charge de 325 k. coke Portes fut d'abord remplacée par une charge de 25 k. coke gaz et 300 k. coke Portes, sans aucune modification dans les dosages en minerai et castine, le vent et la pression. Quatre jours plus tard, aucun changement ne s'étant produit dans l'allure, la charge de coke fut encore modifiée en 50 k. coke gaz + 275 k. coke Portes sans aucun autre changement. Quatre jours après, la proportion fut portée à 100 k. coke gaz pour 225 k. coke Portes, avec une réduction de 1 centimètre dans la pression du vent, ramenée ainsi à 7 centimètres pour tenir compte de la nature plus friable du nouveau mélange. Quinze jours de ce nouveau dosage, loin de nuire à la marche du fourneau, de refroidir l'allure, et d'abaisser la qualité de la fonte, principalement employée en moulages de première fusion (coussinets, ornements et sablerie) amenèrent une amélioration de la qualité des gaz employés au chauffage des chaudières et des appareils à air chaud. On put élever de 300° à 330° la température de l'air lancé; la fonte devint graphiteuse et il fallut augmenter un peu la charge en minerai.

La tenacité des fontes, en comparant entre eux les mêmes numéros, n'avait rien perdu.

L'allure chaude se maintint encore avec la proportion de 150 k. coke gaz et 175 k. coke Portes.

Par des augmentations progressives nous arrivâmes enfin à supprimer complétement le coke de Portes, un peu plus d'un mois après le commencement des essais, et à employer le coke du gaz seul. Au bout d'une dizaine de jours de cette charge, nous pûmes remarquer une production abondante de fraisil qui encombrait le creuset, quoiqu'on l'enlevât à la

pelle à chaque travail de fourneau, et la formation de garnissages dans l'ouvrage et le creuset, dont la capacité se trouvait par là notablement diminuée.

La charge de coke fut alors ramenée à 225 k. coke gaz et 100 k. coke Portes, et avec cette proportion nous vîmes cesser les effets inquiétants que nous avions observés précédemment, tout en conservant l'allure chaude et la charge plus forte en minerai à laquelle nous étions arrivés.

A la suite de ces essais, ce coke n'a pas cessé d'être employé dans les fourneaux concurremment avec le coke de Portes, la proportion du mélange étant réglée surtout par les excédants dont disposait l'usine à gaz.

Les principales remarques que nous ayons eu lieu de faire, et qui peuvent servir de guide dans cet emploi, sont les suivantes :

Le coke provenant des cornues à gaz, en raison même de son mode rapide de fabrication, offre une structure assez poreuse. Le pied est néanmoins assez résistant; mais la surface offre, sur une certaine épaisseur, variable, une croûte scoriacée et boursouflée, une sorte d'éponge où les vides deviennent prédominants.

Cette partie friable, sous l'effet mécanique de la pression et du frottement des matières, se désagrège, et donne lieu au fraisil, qui devient gênant et même dangereux, s'il s'en produit trop, par les garnissages réfractaires qu'il peut former en s'empâtant sur les parois du fourneau avec des laitiers d'allure chaude très-peu fusibles eux-mêmes, ou avec des particules de fer décarburées par un trop long séjour dans les régions oxidantes. On évitera facilement ces garnissages et les inconvénients de toute sorte qui en résultent pour la marche régulière du fourneau, par l'introduction dans des charges d'une proportion convenable de coke moins friable.

Les garnissages faciles peuvent devenir utiles pour la conduite du fourneau, dans le cas où les parties inférieures du fourneau sont vivement attaquées et rongées par les laitiers. Ils permettront de reformer ainsi un ouvrage et un creuset factices, dont la formation sera conduite à volonté et arrêtée par un nouveau changement de la charge.

La production plus abondante de gaz riches donne toutes facilités pour élever la température de l'air lancé dans le fourneau, et par suite pour abaisser le point de fusion et élever la température du creuset et de l'ouvrage, conditions qui assurent la marche régulière du fourneau et contrebalancent les inconvénients attachés à la production des fraisils.

Le gaz donne plus de poussière dans les conduites; cet inconvénient est dû en partie sans doute à la friabilité du coke, en partie aux produits condensables contenus dans ces gaz, qui, par le refroidissement, se déposent et cimentent les poussières entraînées, empêchant ainsi le courant gazeux de les porter au loin; l'obstruction assez rapide des tuyaux, qui en résulte, nécessite simplement un nettoyage un peu plus fréquent de ces conduites.

Enfin, dans le cas particulier qui nous occupe, les cendres du coke gaz étant plus calcaires que celles du coke de Portes, à cause du mélange d'une

certaine proportion de houille anglaise aux menus de Portes pour la fabrication du gaz d'éclairage, le dosage ne nécessitait pas une aussi grande quantité de castine dans la charge. De là un poids de laitier moindre à fondre et une petite augmentation de l'effet utile de combustible à ajouter à celle qui résulte d'autre part de l'accroissement de charge en minerai.

Les résultats obtenus à la suite de ces essais dans le haut fourneau numéro 2, mis en feu au mois d'octobre 1858, sont venus pleinement confirmer les précédents. On a obtenu depuis la mise en feu une allure régulière en fontes grises numéros 1, 2 et 3, avec une consommation moyenne de 1,100 k. de coke par tonne de fonte, le rendement moyen des mélanges de minerai étant de 55 à 58 0/0. Les premiers mois de roulement ont même donné des consommations mensuelles moyennes de 990 k. à 1,050 k. coke par tonne de fonte n° 1 et graphiteuse.

Quelle que soit dans ces derniers résultats la part à attribuer à l'emploi d'un appareil neuf, à quelques modifications des formes intérieures, et notamment à un élargissement du gueulard, tout semble prouver que le coke du gaz n'a pas fait preuve de l'infériorité marquée qu'on lui supposait, et qu'il peut être employé à la fabrication de la fonte, sans détriment pour cette fabrication.

M. Cazes pense, en résumé, avec M. Gaulliard, que le seul soin à prendre pour l'emploi de ce coke, comme coke métallurgique, réside dans l'appropriation attentive de la pression du vent à sa nature plus ou moins friable, et dans son emploi en mélange, si cette friabilité est trop grande.

Enfin, sans présumer pour cela de l'impossibilité d'arriver à un bon résultat, aucun effet convenable de l'essai de ce coke dans les cubilots pour la seconde fusion n'a été obtenu jusqu'à présent.

Sur la demande de M. le Président, M. Cazes ajoute à ce qu'il vient de dire que le poids spécifique du coke était déterminé de temps à autre par la pesée directe des mannes servant au chargement.

La différence de poids entre le coke des cornues à gaz et celui des cokes de Portes Sénéchas était de 30 kilog. par mètre cube.

Pour avoir du coke un peu plus dense, on avait essayé d'employer des cornues plus grandes (les cornues sont en terre réfractaire), mais on y a renoncé parce que la production de gaz était trop lente.

M. Tronquoy, secrétaire, donne ensuite lecture d'une note de M. Emile Boivin, sur quelques essais des *foyers à combustion mixte*, imaginés par M. Corbin Desboissière.

L'auteur de la note, après avoir décrit comment se produit la combustion dans les foyers ordinaires, définit ainsi la combustion mixte : « La *combus-* « *tion mixte* consiste à faire dégager d'abord du combustible les gaz à une « température suffisante pour obtenir leur combustion sans le secours de

« l'air extérieur, puis à brûler ensuite le coke qui résulte de cette pre-
« mière combustion sur une grille ordinaire avec l'oxygène atmosphé-
« rique. »

Le foyer de M. Corbin est divisé, dans sa largeur, en trois parties ; celle du milieu est une surface plane, carrelée en briques réfractaires, appelée *avant-foyer* ou *tablier ;* de chaque côté du tablier et au même niveau, est une grille ordinaire à barreaux minces.

La voûte au-dessus du foyer est disposée de manière à réfléchir sur le tablier le calorique ; quant à l'autel, il monte près des bouilleurs de la chaudière en forçant les gaz à passer dans un orifice étroit.

Le chargement de la houille se fait sur le tablier, et le calorique rayonnant suffit pour la distillation des produits gazeux qui s'enflamment ; puis, lorsque la distillation est terminée, on fait tomber à droite et à gauche le coke obtenu sur les grilles où s'achève la combustion du charbon, puis on charge à nouveau le tablier.

La disposition de la voûte et de l'autel produit le tourbillonnement des gaz, et facilite le mélange avec l'air atmosphérique qui passe à travers la grille. En réglant convenablement l'épaisseur du combustible et l'afflux d'air on détermine la combustion complète des gaz hydrogénés et de l'oxide de carbone.

Les dimensions relatives du tablier et des deux grilles ainsi que des surfaces réfléchissantes varient suivant la nature du combustible employé, le tablier devant être d'autant plus grand, par rapport aux grilles, que le combustible est plus riche en gaz, la section de l'ouverture d'échappement de gaz est en moyenne le $\frac{1}{5}$ de la surface des grilles.

La disposition du foyer Corbin varie d'ailleurs suivant les besoins ; tantôt on fait sous chaque chaudière un vaste foyer, avec trois portes, une pour chaque grille et une en avant du tablier ; tantôt on ne met qu'une seule porte à deux battants. Quelquefois les portes sont supprimées et l'obturation des ouvertures se fait par le combustible même, d'autres fois encore on fait sous chaque bouilleur d'une chaudière un foyer séparé.

Enfin, on a appliqué avec succès le foyer Corbin à des fours à souder, à réchauffer, à puddler, etc., avec quelques dispositions particulières.

M. Emile Boivin donne ensuite le détail d'essais comparatifs qui ont été faits avec le plus grand soin sur des chaudières à vapeur de 35 à 45 chevaux. Le résultat moyen de ces essais est le suivant :

Les chaudières avec les foyers anciens, qui étaient établis dans de bonnes conditions, produisent 6 kilog. 70 de vapeur à 4 atmosphères 5 par kilogramme de charbon brûlé.

Les mêmes chaudières avec le foyer Corbin ont produit 8 kilog. 05 de

vapeur; donnant ainsi une économie de 16 0/0, économie qui sera plus grande encore quand le foyer sera bien connu par les chauffeurs aux mains desquels il sera confié.

M. Faure pense qu'il y a lieu de regretter que M. Boivin ait reproduit la dénomination essentiellement impropre de foyer *à combustion mixte*, que M. Corbin a cru devoir donner à son appareil.

La houille placée sur le tablier subit d'abord une distillation incomplète, en même temps que les gaz, produits de cette distillation, se brûlent imparfaitement, en se combinant avec l'oxigène qui est livré par les deux grilles latérales; il y a donc, simultanément, distillation et combustion. Rien de plus.

M. Faure dit, en outre, que la disposition qui consiste à séparer les deux grilles par un tablier ou avant-foyer est loin d'être nouvelle. Elle a été complètement décrite dans une patente anglaise au nom d'Ed. Foard, qui remonte à 1844.

Plus tard, elle a été empruntée à ce dernier par M. Vuitton, qui y a ajouté des dispositions heureuses et essentielles. Le foyer Vuitton fonctionne à la boulangerie de la place Scipion.

Le foyer Foard, de même que celui de M. Corbin, présente cette condition essentiellement défavorable au but voulu de la fumivorité, que le combustible placé sur le tablier central ne reçoit pas par voie d'*accès direct* l'air qui doit être intimement mélangé au gaz produit par la distillation.

M. Vuitton a imaginé, sur les parois verticales du coffre de distillation qui sépare les deux grilles, des accès d'air spéciaux, éminemment favorables au point de vue du mélange de l'air et des gaz, mélange duquel seul peut résulter une bonne et complète combustion. Il a en outre rendu ascendante la charge de combustible, au moyen d'un wagon et manœuvre à la main par un système de leviers.

Enfin, pour être juste, bien qu'il ne veuille pas entrer ici dans des développements qui seraient intempestifs en présence d'un procès pendant entre MM. Duméry et Vuitton, M. Faure croit devoir remarquer que M. Duméry aurait compris, *le premier*, l'utilité d'un accès direct d'air neuf, au milieu de la masse de combustible en voie de distillation. Quoi qu'il en soit, M. Faure pense que le foyer Vuitton, comparé à celui de M. Corbin, a sur ce dernier une supériorité incontestable, sans parler d'une disposition commune empruntée par l'un et par l'autre à la patente Foard.

MM. Fèvre, Flaud, Giffard, Gislain, Le Laurin, Desmousseaux de Givré, Bélanger, Hamers, Marché, Noisette, Rocaché, Riche, Delon, Vidal et Monnot, ont été reçus membres de la Société.

SÉANCE DU 4 MAI 1860

Présidence de M. VUIGNER

M. LOVE donne lecture de la première partie d'un travail intitulé : *De l'identité des agents qui produisent le son, la chaleur, la lumière*, etc.

L'auteur montre d'abord, dans une courte introduction, le lien qui unit son nouveau travail à ses recherches expérimentales sur la résistance et autres propriétés des matériaux de construction. Puis il indique sommairement le résultat de ses recherches et la méthode qu'il a employée. Au lieu de se borner à étudier les corps au point de vue de leurs propriétés et des actions qu'ils exercent les uns sur les autres; il l'a fait encore au point de vue *de l'action qu'ils exercent sur nos sens, du lien que les sensations éprouvées établissent entre eux, et des conséquences que l'on peut tirer de là, quant à leur constitution intime, et à la nature des forces qui les modifient*. Ce procédé physico-physiologique lui a révélé des notions nouvelles dont quelques-unes étaient inattendues, tandis que les autres sont venues confirmer certaines aspirations de la science timidement et imparfaitement formulées jusqu'ici.

Entrant ensuite dans son sujet, l'auteur commence par examiner quels sont les caractères auxquels on reconnaît l'existence et la matérialité d'un corps et conclut que la *matière est tout ce qui frappe un ou plusieurs de nos sens, tout ce qui peut recevoir le mouvement et le communiquer*. Il ajoute à ce moyen d'investigation quelques développements sur la manière de distinguer *une entité, d'un attribut*. L'entité se reconnaît à ce signe qu'elle constitue une *unité distincte*, qu'elle a des attributs invariables dans les mêmes circonstances, différant en nombre et en intensité de ceux des autres entités; qu'elle ne peut s'allier avec une autre entité et continuer à y être discernée par ses attributs. *L'attribut*, au contraire, se reconnaît à ce signe, qu'il peut, à l'inverse de l'entité, *coexister distinctement* avec d'autres attributs, qu'il ne peut être isolé d'un corps ou y exister à des degrés différents dans les mêmes circonstances. En tous cas, la dépendance reconnue exister entre ces deux termes, *entité, attribut*, est telle, que l'on peut toujours conclure de l'un à l'autre Ainsi, lorsque la présence

d'un ou de plusieurs attributs aura été constatée, l'existence d'une *entité* apparente ou non, pondérable ou *impondérable* (1) s'en suivra rigoureusement.

L'auteur fait voir ensuite que le *mouvement* modifie les attributs et il arrive à cette conclusion : que si une entité, qui ne se révèle d'abord que par certains attributs, en décèle d'autres à d'autres moments dans des circonstances différentes, on pourra dire, si les premiers ont été constatés au repos, que *les derniers sont le résultat du mouvement plus ou moins rapide de l'entité dont il s'agit.*

Partant de là, M. Love, après avoir montré que la chaleur et la lumière *coexistent toujours et d'une manière distincte*, en conclut que ce sont des attributs et non des entités.

Ce ne sont pas des attributs des corps pondérables. Appartiendraient-ils à l'électricité, ou l'électricité serait-elle un attribut comme la chaleur, la lumière? L'auteur fait voir que l'électricité, qu'il démontrera plus tard être *une substance unique*, est une véritable entité; qu'elle en a les caractères au repos; mais qu'en outre, lorsqu'elle est animée d'une très-grande vitesse, elle donne lieu aux phénomènes *de lumière, de chaleur et de son*. Ce qui confirme l'observation faite précédemment, que lorsqu'une entité reconnue au repos par certains attributs en décèle d'autres variables dans des circonstances différentes, ces derniers sont le résultat du mouvement plus ou moins rapide de l'entité en question :

Donc la *lumière*, la *chaleur*, le *son*, sont des attributs manifestés par l'électricité en mouvement.

Mais ces mêmes attributs n'appartiennent-ils pas, à divers degrés, à tous les corps? Non, et cela ne peut faire question pour la chaleur et la lumière. Reste le son. Ici M. Love, s'appuyant sur les effets mécaniques que produirait l'air ondulant avec une vitesse de 340 *mètres par seconde*, la vitesse de l'ouragan le plus violent n'étant que de 46 mètres, rejette la possibilité d'une intervention de cet agent dans la production du son, pareille à celle que l'on a supposée. Il fait comprendre qu'il n'y a que le fluide électrique, qui est dans l'air, qui par sa densité infiniment faible (2) soit capable de se mouvoir avec la vitesse constatée, sans qu'il en résulte

(1) L'auteur entend par *impondérable* ce qui échappe à l'action de la pesanteur.

(2) Le fluide électrique n'est pas impondérable d'une manière absolue, puisqu'il produit des effets mécaniques considérables et que cela ne peut avoir lieu qu'en vertu d'une vitesse et d'une *certaine masse*. Mais ces effets étant en raison du carré de la vitesse, et la vitesse pouvant être énorme, on peut se rendre compte que, pour produire le même effet sous le même volume et la même pression, la densité du fluide pourrait n'être que la centrillionième partie de celle de l'air. Quand, en réalité, cette densité serait un million de fois plus grande, la densité du fluide serait telle qu'il pourrait passer avec facilité à travers les corps les plus denses.

une quantité d'action mécanique funeste à un organe aussi délicat que l'ouïe et même à l'organisme entier. M. Love examine, d'ailleurs, l'expérience de physique, du timbre résonnant sous la cloche d'une machine pneumatique et prouve qu'elle n'a nullement la valeur et la signification qu'on lui a attribuées. Puis il fait voir que le rôle de l'air et des corps solides dans la production du son est celui d'agents intermédiaires, au moyen desquels nous imprimons à l'électricité le mouvement nécessaire à la manifestation du phénomène. C'est ainsi *seulement* que l'on peut se rendre compte pourquoi une cloche en métal, donnant *la même note* que le gros bourdon d'un jeu d'orgue avec ses ondes aériennes de 32 pieds, n'a que des mouvements presque imperceptibles. C'est que le son étant le résultat d'une certaine quantité d'action imprimée au fluide, on conçoit que le métal, étant beaucoup plus dense que l'air, n'ait besoin pour le produire que d'un déplacement de ses molécules infiniment plus faible... Ajoutant ensuite quelques développements sur l'existence forcée du fluide, dans les espaces planétaires, sur le fait que l'homme avec ses faibles moyens lui fait déjà produire une lumière égale en intensité au tiers de celle du soleil, il repousse le fluide hypothétique appelé *Ether*, et conclut que la *lumière*, la *chaleur* et le *son* sont des attributs appartenant exclusivement à l'*électricité*.

M. Love fait voir ensuite que c'est au moyen de mouvements vibratoires allant rapidement en augmentant, du son à la chaleur, de la chaleur à la lumière, que le fluide électrique produit ces différents ordres de phénomènes. Ce qui ressort assez clairement, pour les solides, du mouvement vibratoire imprimé à une barre de fer, qui, sous cette action constante et accélératrice, fait d'abord entendre un son, s'échauffe graduellement et finit par devenir lumineuse. Il montre d'ailleurs que ces mouvements imprimés au fluide doivent se maintenir à l'état vibratoire pour être transmis à nos sens.

Mais outre les divers phénomènes dont il vient d'être question, M. Love rappelle que le fluide des machines a toujours une certaine odeur phosphorée; celle de la foudre la développe également et parfois aussi celle du soufre enflammé. Quelle est la cause de ce phénomène? ne serait-il pas dû aussi à un état vibratoire particulier du fluide? On ne saurait en douter; M. Love cite plusieurs exemples d'odeurs semblables dégagées par le fer avant d'arriver à la chaleur rouge. Or il suffit de montrer que le fluide dégage une seule odeur, dans les mêmes circonstances, *par un état vibratoire particulier*, pour conclure rigoureusement qu'il peut les produire toutes, de même que produisant un son par un certain nombre de *vibrations* ayant une certaine *amplitude*, il les produit tous par les modifications de ces deux termes du mouvement vibratoire.

Passant alors en revue les sensations appartenant aux divers organes il montre qu'elles sont produites, pour la plupart, ainsi qu'on vient de le voir, par des états vibratoires particuliers du fluide et conclut, en présence de la simplicité ordinaire des procédés naturels, que le goût ne sau-

rait échapper à cette règle, et qu'en conséquence ***toutes nos sensations sont dues a diverses catégories de vibrations du fluide électrique ne différant entre elles que par leur nombre et leur amplitude.***

Pour clore la démonstration générale qui précède, M. Love cite, comme preuve expérimentale récapitulant la série des phénomènes qu'il vient d'examiner, la production spontanée de ces phénomènes par l'exemple d'une barre de fer passant naturellement par les états vibratoires qui les constituent. Ainsi une barre de ce métal chauffée à blanc nous donne l'impression de la lumière blanche, de la lumière rouge, de diverses intensités de la chaleur et ***du son.*** Il renvoie pour la preuve de ce dernier phénomène à l'article publié par M. Figuier, sous le titre de ***Métaux chanteurs,*** dans le tome 2 de son année scientifique 1858. Il annonce ensuite qu'il passera successivement en revue tous les faits principaux de la physique pour y puiser une nouvelle confirmation du système qu'il vient de poser dans ses termes les plus généraux.

Il commence aussitôt par ***l'examen du son dans ses rapports avec la lumière.*** Il se demande s'il y a une loi générale qui relie le nombre de vibrations à leur amplitude, dans toute la série infinie des phénomènes compris entre ceux du son et de la lumière; et montre que s'il y en a une, comme c'est probable, elle ne peut être exprimée en égalant le produit du nombre des vibrations y et de leur amplitude x à une constante, c'est-à-dire que l'on ne peut avoir $xy = a$.

Cela est en contradiction avec l'opinion professée en physique qui veut ***que les sons, quels que soient leur ton, leur timbre et leur intensité, se propagent avec la même vitesse.*** Mais M. Love fait remarquer que si l'on prouve que la différence d'arrivée à l'oreille des sons embrassés par l'échelle musicale est trop petite pour être appréciable aux distances ordinaires d'audition, les expériences sur lesquelles on s'appuie pour entretenir cette idée ne prouveront rien du tout. C'est ce qu'il établit plus loin après avoir déterminé une formule, fondée sur l'accroissement de vitesse des sons à mesure que leur acuité augmente.

Une formule satisfaisant à la condition de donner une vitesse variable V appartient nécessairement à une courbe hyperbolique, se rapprochant plus rapidement de l'axe des x que de l'axe des y et doit avoir la forme :

$$y = \frac{a}{x^2} \text{ et comme } x \times y = V,\ x^2 = \frac{V^2}{y}, \text{ et par conséquent}$$

$$a = \frac{V^2}{y}.$$

Appliquant à cette formule la vitesse du son du canon, et considérant ce son comme le maximum d'intensité de celui correspondant au sol de la voix de l'homme de 396 vibrations par seconde, on obtient :

$$y = \frac{292}{x^2} \text{ ou bien } y = \frac{V^2}{292}.$$

En introduisant dans la première de ces formules l'amplitude de la vibration de la lumière rouge tirée directement du spectre solaire, et que Frauenhofer et Fresnel ont trouvé être égale à 645 millionièmes de millimètre; il s'en suivrait, si la lumière était due aux vibrations du même agent que le son et soumise à la même loi, que le nombre de vibrations correspondant serait :

$$y = 04{,}288{,}000{,}000{,}000 \text{ en nombre ronds,}$$

et la vitesse de transmission de cette lumière tirée de la deuxième formule devrait être

$$V = \sqrt{292 \times 704{,}283{,}000{,}000{,}000} = 453{,}000{,}000 \text{ mètres.}$$

La vitesse de transmission de la *lumière blanche réfléchie* par un satellite de Jupiter a été trouvée être de 3,200,000,000 de mètres par seconde. Ces deux nombres quoique différents sont concordants ; car la lumière rouge en question est la plus voisine de la lumière blanche solaire, la plus intense; tandis que l'autre, n'étant que de la lumière blanche réfléchie, doit appartenir à un degré inférieur de l'échelle des gammes lumineuses. Cette concordance contribue certainement à confirmer l'identité des agents qui produisent la lumière et le son. On peut encore invoquer à l'appui de cette opinion ce fait d'observation générale, que, dans les mêmes circonstances, les sons se propagent mieux la nuit que le jour. Or, la lumière et le son étant dus à des vibrations d'un ordre différent du même agent, on conçoit que les premières puissent contrarier et atténuer les secondes dans une certaine mesure.

Passant ensuite à l'application de cette formule aux sons produits dans un théâtre de 50 mètres de profondeur à partir de l'avant-scène, en prenant des sons écartés de trois octaves et demie, circonstances qui ne se présentent jamais, M. Love fait voir que dans cette hypothèse extrême la différence de vitesse d'arrivée à l'oreille ne serait que de 83 millièmes de seconde ; différence plus faible que celle observée fréquemment dans un chœur entre les basses et les dessus attaquant le même accord. En rentrant dans les cas qui se rencontrent en pratique dans un théâtre de la plus grande dimension, comme celui de Saint-Charles à Naples, ayant 26 mètres de profondeur à partir de l'avant-scène jusqu'au rang le plus éloigné des auditeurs, la différence descendrait au-dessous de 20 millièmes de seconde. On ne peut donc conclure de l'harmonie des sons d'un orchestre perçue à distance, que ces sons, quelle que soit leur acuité, se propagent avec la même vitesse. Tout ce que l'on peut dire, c'est que ce résultat est souvent obtenu. Mais cela tient alors, ainsi qu'on le verra plus loin, à ce que la différence de vitesse des sons ayant le *même degré* d'intensité peut être entièrement effacée en produisant ces sons à des degrés relatifs d'intensité, et par suite avec des amplitudes capables de racheter la différence dans le nombre des vibrations.

M. Love démontre ensuite que la vitesse des sons est variable non-seulement pour les sons divers, mais qu'elle l'est aussi pour le même son suivant son intensité. Cette proposition n'infirme en rien ce qui a été dit relativement à la formule de la transmission du son ; parce que cette formule s'applique aux sons produits avec leur maximum d'intensité et d'amplitude. Il entre dans quelques développements pour expliquer ce qu'il entend par maximum d'intensité d'un son, et le signe auquel on le reconnaît. Et enfin après avoir indiqué comment il faut comprendre que les sons se propagent à l'air libre et dans les tuyaux, il fait voir que l'expérience dans laquelle M. Biot a fait jouer de la flûte à l'extrémité d'un tuyau de 950 mètres ne prouve nullement que tous les sons se propagent avec une égale vitesse.

M. Love termine la première partie de son travail comme il suit :

« Les considérations et investigations particulières auxquelles nous venons de nous livrer sur l'acoustique dans ses rapports avec la lumière, « en même temps qu'elles redressent de graves erreurs, viennent donc « corroborer la démonstration générale de ce fait, que l'électricité est le « seul agent dont l'action mécanique, variable sur nos organes, produit nos « diverses sensations. Cette démonstration empruntera encore une force « nouvelle de l'examen des autres parties de la physique.

« En attendant, mettant un instant de côté les raisons et les faits sur lesquels nous nous sommes appuyé, et nous reportant à la simplicité admirable des moyens que la Nature met en œuvre pour résoudre les problèmes les plus délicats et que la science nous révèle à mesure qu'elle « fait un pas en avant; remarquant d'un autre côté, dans l'industrie, les « effets si variés produits par un *même moteur* dont l'action est modifiée « suivant *la forme des récepteurs de la force motrice*; et enfin revenant « à la machine humaine dans laquelle nous discernons, entre autres, cinq récepteurs différents pour nos diverses sensations ; pouvons-nous admettre, « un instant, que la Nature se soit montrée moins intelligente que l'homme « qui est son œuvre, et qu'elle ait employé cinq moteurs différents là où « nous concevons clairement qu'un seul peut suffire ? Peut-on méconnaître « que le système que nous avons exposé dans les pages précédentes ne « tire déjà de ce simple rapprochement un degré de probabilité très-voisin « de la certitude?

« Dans le nouvel ordre d'idées, la physique et la physiologie ne sont « plus qu'une extension de la *mécanique*. Il n'y a partout, en effet, que « mouvement, transformation de mouvement, travail mécanique dont les « résultats sont une modification des corps inertes, une modification continuelle, définitive ou accidentelle et temporaire, des tissus et des « organes. — Mais il y a toujours aussi, dans tout cela, un agent qui préside à tous ces changements, qui les voit, les sent, les juge. Il y a là de « nouveaux attributs qui, eux aussi, réclament leur entité. Nous en parlerons plus tard..... »

M. le Président remercie M. Love de son intéressante communication, et l'invite à vouloir bien donner la suite à la prochaine séance.

SÉANCE DU 18 MAI 1869

Présidence de M. Laurens *vice-président*

M. Love donne lecture de la deuxième partie de son mémoire intitulé : de l'identité des agents qui produisent le *son*, la *chaleur*, la *lumière*, etc.

L'auteur revient sur la variabilité dans la vitesse de transmission des sons, pour citer à l'appui de son opinion de nouveaux faits qui lui ont été communiqués et qui la confirment. C'est d'abord une expérience faite par le capitaine Parry dans les mers du Nord, dans laquelle le commandement de faire feu arrivait à l'oreille d'auditeurs éloignés après le bruit du canon. Ce sont ensuite des observations faites par M. Montigny et lues à l'Académie de Bruxelles, et desquelles il est ressorti clairement que la vitesse du son du tonnerre pouvait dépasser 2,000 mètres par seconde. M. Love entre ensuite dans de nouveaux détails sur les divers degrés d'intensité d'un même son, pour faire comprendre comment les sons différents par leur degré relatif d'intensité et leur acuïté pouvaient arriver à l'oreille, en même temps, à des distances beaucoup plus grandes qu'on ne serait porté à le croire au premier abord, d'après ce qui a été dit sur ce sujet dans la première partie de son travail.

Il aborde ensuite les phénomènes de l'optique et rappelle que les physiciens avaient été amenés insensiblement à attribuer la lumière aux vibrations d'un agent spécial appelé *éther*, et montre qu'ils n'eussent pas éprouvé le besoin d'inventer un nouveau fluide et qu'ils eussent reconnu dans l'électricité la cause unique de la lumière, s'ils n'avaient été retenus par la malencontreuse théorie des deux électricités. Il exprime ensuite l'opinion que le fluide électrique étant un agent matériel auquel s'applique les notions habituelles de la mécanique dans ses manifestations sonores, il doit en être de même des phénomènes lumineux qui lui sont dus. Et l'on ne doit chercher et ne s'attendre à voir, dans la *réflexion*, la *réfraction*, la *dispersion*, la *polarisation*, les *interférences* que des états dynamiques différents du même fluide ayant leurs analogues dans les mouvements des gaz, et auxquels on n'a donné des noms particuliers que parce qu'ils se traduisent à l'œil d'une manière plus sensible. Il passe rapidement en revue ces divers phénomènes et y trouve la confirmation de l'opinion qui vient d'être rappelée.

M. Love examine ensuite le rôle de l'électricité dans les phénomènes

calorifiques. Il fait voir son action dans la dilatation d'une barre chauffée, et son accumulation forcée dans le changement d'état du solide entrant en fusion et désignée en physique sous le nom de *calorique latent*. Puis comparant le mouvement du fluide dans une barre ou un fil avec le mouvement de l'air dans un tuyau, il explique comment il se fait que dans l'échauffement d'une barre, qui n'est pas autre chose qu'une incorporation de fluide électrique supplémentaire à l'état de vibration, l'électricité ne trahit pas sa présence au galvanomètre. Ce cas a son analogue dans l'air s'écoulant dans un tuyau en restant en équilibre avec la pression atmosphérique. Le manomètre, dans ce cas, est muet comme l'est le galvanomètre dans le cas précédent. Mais les deux instruments parlent si, les deux fluides continuant à affluer dans leurs canaux respectifs, on vient à gêner leur mouvement ou leur sortie, par un obturateur au tuyau d'air, par une soudure à la barre de fer ou une torsion faite à son extrémité. On a, dans ce dernier cas, un courant appelé *thermo-électrique*. Suivant M. Love, ce courant existait auparavant et il a été rendu simplement apparent par l'obstacle apporté à son mouvement.

Les phénomènes électriques montrent qu'il y a au moins *un* agent qui les produit. Le deuxième n'a été inventé que pour expliquer certains faits dont on n'avait pas trouvé la solution en s'en tenant à un fluide unique. Certains physiciens considèrent cette hypothèse comme une réalité. M. Love, examinant la théorie de la machine électrique et de l'électrisation par influence, fait voir que ces théories sont fausses et que l'hypothèse de deux fluides n'est d'aucun secours pour expliquer les phénomènes en question (1). Il affirme, au contraire, que rien n'est plus facile d'en donner une expli-

(1) M. Love discute dans les termes suivants la théorie officielle de l'électrisation par influence :
« Deux sphères A et B étant mises en présence ; l'une A supposée chargée
« d'électricité vitrée ; l'autre B à l'état neutre. L'électricité de celle-ci est dé-
« composée (par influence, bien entendu). La résineuse se porte du côté du
« corps B, la vitrée est refoulée de l'autre côté. Les choses étant dans cet
« état, si l'on touche le côté du corps B opposé au corps A, la mécani-
« que reprend ses droits et l'électricité vitrée de B s'écoule dans le sol. Mais
« ce qu'il y a d'extraordinaire, c'est que si l'on touche l'autre côté où il n'y
« a, d'après la théorie, que l'électricité résineuse, c'est encore la vitrée qui
« s'écoule, sans doute à cause de son *horreur* pour l'électricité du même
« nom du corps A. M. Pouillet, qui qualifie ce phénomène de *remarquable*,
« très-remarquable, en effet, dans les conditions où il est présenté, l'ex-
« plique différemment, mais d'une manière qui n'est ni plus heureuse, ni
« plus concluante.
« « En effet, ce physicien admet que l'électricité naturelle du conducteur
« ou du doigt que l'on approche du corps B est aussi décomposée par
« influence et de la même manière que celle de ce corps par la présence de A ;
« que son électricité vitrée est refoulée dans le sol et que la résineuse passe
« sur le corps B pour aller neutraliser de *l'autre côté* où elle est accumulée,
« l'électricité vitrée de ce corps.
« Mais nous opposerons à cette invention l'objection suivante : Il est évi-
« dent que la faculté que l'on prête au corps A de décomposer l'électricité
« naturelle des corps voisins *est limitée*, et alors il doit arriver de deux

cation simple et suffisante en reconnaissant que l'électricité répond au signalement suivant :

« L'électricité est un gaz d'une subtilité extrême qui pénètre tous les « corps et dont chaque corps, sous une pression atmosphérique et un état « hygrométrique déterminés, contient toujours la même quantité. La « moindre impulsion le met en mouvement. Le choc et le frottement le font « sortir des interstices entre les molécules où il est logé et peuvent faire « qu'il accuse sa présence par des signes extérieurs. Il s'écoule sur celui de « corps frottants qui par sa structure moléculaire offre le moins d'obstacle « à son mouvement. Accumulé à la surface des corps appelés *conducteurs*, « il y est retenu, dans une certaine mesure, par l'air, comme ce gaz l'est « lui-même dans une enveloppe plus ou moins perméable. Cependant il « tend sans cesse à se mettre en équilibre sur des corps voisins qui en sont « différemment chargés comme l'eau dans les vases communiquants. Ce « qu'il effectue en *trouant* son enveloppe aérienne, petit à petit, si le con- « ducteur est rond ; rapidement, s'il est parsemé de pointes ; plus rapide- « ment encore, si l'on établit des communications entre ces corps divers au « moyen de baguettes métalliques. »

Partant de là, M. Love donne une nouvelle théorie de la machine électrique d'après laquelle le frottement et les vibrations imprimés au plateau de verre délogent l'électricité des interstices moléculaires et l'amènent à la surface. La force centrifuge la pousse suivant le rayon, vers la circonférence où elle s'accumule à l'état de tension. Là elle rencontre de chaque côté une multitude de petits canaux métalliques par lesquels elle s'écoule et s'accumule sur le conducteur. L'électricité qui s'en va est remplacée par celle qui est appelée du sol par le vide électrique qui se fait au centre du plateau en vertu de la force centrifuge (1).

L'électrisation d'un corps dite par influence est expliquée par le refoulement de l'électricité naturelle du corps du côté opposé à celui dont on l'approche et que l'on a chargé d'électricité à l'état de tension, refoulement produit par le fluide qui s'échappe de celui-ci en trouant son enveloppe

« choses l'une : ou cette faculté est épuisée, ou elle ne l'est pas. Si elle l'est, « on aura beau présenter un conducteur à l'extrémité résineuse du corps B, « l'électricité de ce conducteur ne sera pas décomposée et il ne pourra y « avoir, et en aucune façon, neutralisation de l'électricité vitrée de B ; où « bien la faculté de décomposition du corps A ne sera pas épuisée, et alors « l'électricité naturelle du conducteur ou du doigt que l'on approche de B « sera décomposée de la même manière que celle de ce corps. La vitrée sera « refoulée dans le sol ou en arrière et la résineuse attirée. Mais alors, en vertu « de l'*attraction* exercée par A sur l'électricité résineuse du doigt comme « sur celle de B, en vertu de la *répulsion* entre les deux électricités du même « nom, elle restera en place, à moins que l'on n'invente, pour la circons- « tance, une nouvelle force la soustrayant à cette double influence et l'escor- « tant sous bonne garde jusqu'à l'électricité du corps B où la *neutralisa-* « *tion* est censée s'effectuer. »

(1) M. Faure a fort heureusement caractérisé la machine électrique ainsi comprise, en l'assimilant à un ventilateur.

aérienne, du côté où son épaisseur a été réduite par le rapprochement des deux corps.

L'existence des deux électricités étant ainsi réfutée et ce que l'on a considéré comme tel n'étant, ainsi que le pensait Franklin, que deux états relatifs différents d'une même électricité, M. Love propose d'appeler *fluide à l'état positif*, celui où la quantité d'électricité possédée par un corps est au-dessus de celle qu'il contient habituellement d'une manière non apparente ; et *fluide* à l'état *négatif*, l'état opposé. Aux expressions vicieuses de *fluide positif* et de *fluide négatif* proposées par Franklin on pourrait substituer celles de fluide *condensé ou accumulé* et de *fluide raréfié.*

M. Love termine son examen de cette partie de la physique en rendant compte par sa théorie des actions attractives et répulsives qui ne sont plus que des actions mécaniques très-simples. Puis se fondant sur la répulsion ou plutôt l'écartement observé dans les balles de sureau électrisées, tenues par des fils rassemblés au même point, écartement dû aux petites atmosphères d'électricité qui entourent chacune des balles et qui paraissent en faire partie intégrante, il propose de jeter dans un conducteur en forme de panier ayant à son centre une sphère en cuivre à laquelle on pourrait imprimer un mouvement de rotation une demi-douzaine de balles de sureau pour voir si elles ne se maintiendraient pas en l'air et à distance les unes des autres; et si elles ne seraient pas mises en mouvement de translation et de rotation sur elles-mêmes, par le mouvement rotatoire de la sphère centrale. M. Love attendra pour formuler toute sa pensée au sujet de ce phénomène, qui, selon lui, doit se produire ainsi qu'il vient de le tracer, que l'expérience ait été faite et lui ait donné raison.

M. Love procède ensuite à l'explication des courants électriques terrestres en débutant par la proposition principale de l'électro-dynamique qui, selon lui, contient toutes les autres et fournit l'explication des courants dits d'induction. Cette proposition est la suivante :

« *Lorsque deux courants se croisent, si rien ne s'oppose à leur* « *mouvement, ils se disposent toujours de manière à cheminer dans* « *le même sens.* »

M. Love explique ce phénomène en admettant qu'un courant électrique, dans un fil, détermine d'abord un appel d'électricité de l'extérieur ou du fil voisin, comme il se fait un appel d'air dans certains cas de l'écoulement de l'eau dans les tuyaux ; que de plus il se forme autour des fils et par communication latérale du mouvement des courants extérieurs d'électricité atmosphérique dans le même sens que le courant des fils. Dès lors, si deux courants électriques se croisent à une distance telle que les courants extérieurs puissent se toucher et réagir l'un sur l'autre efficacement, ils tendront naturellement à marcher de concert et entraîneront avec eux les courants principaux auxquels ils doivent naissance.

Quoiqu'il en soit, en examinant l'action des uns sur les autres des courants astatiques, des courants sur les aimants et réciproquement; consta-

tant ensuite la direction prise par un courant circulaire se mouvant dans un plan vertical, on est forcé de reconnaître que l'aiguille aimantée est un solénoïde et qu'il doit exister à l'intérieur de la terre et jusqu'à la surface un courant électrique dirigé à peu près de l'est à l'ouest. Quelle est la nature de ce courant, à quoi est-il dû? M. Love fait voir que ce ne peut être un courant thermo-électrique ainsi que l'ont supposé les physiciens. Il doit y avoir un grand nombre de ces courants dont la direction varie suivant la nature de l'écorce terrestre et les changements fréquents dans l'état de l'atmosphère. Ces sortes de courants ne peuvent produire en général, comme les aurores boréales, que les perturbations de l'aiguille. Si l'on imagine au contraire deux sphères l'une A fortement électrisée et l'autre B beaucoup moins, ou même à l'état naturel et qu'on les approche suffisamment l'une de l'autre; la dernière, suivant l'ancienne théorie, sera électrisée par influence, c'est-à-dire qu'il y aura du côté opposé au corps A une accumulation de son électricité diminuant en intensité en allant vers les pôles. Dès lors si l'on suppose que la sphère B tourne sur elle-même autour d'une axe perpendiculaire à la ligne qui joint les centres des deux sphères, la zone d'électricité accumulée se déplacera incessamment et formera un courant dans le sens inverse du mouvement de rotation. A la place des deux sphères, que l'on mette le soleil et la terre et l'on reconnaîtra qu'il existe sur celle-ci un courant de même nature, dont la régularité, l'étendue et le sens montrent clairement qu'il doit être la cause de l'orientation habituelle de l aiguille aimantée. Dans cet ordre d'idées, le méridien magnétique doit être perpendiculaire au plan de l'écliptique et faire avec le méridien terrestre le même angle que le plan de l'écliptique fait avec l'équateur et éprouver les mêmes variations séculaires. En ce moment le premier est de 22°, le second de 23°. Ils ont éprouvé tous les deux des variations séculaires qui n'ont pas été assez bien observées pour que l'on puisse dire que cette relation entre les deux angles existe toujours; mais cela est plus que probable, sauf les écarts dus à d'autres causes qu'il s'agit de découvrir.

Quant aux perturbations diurnes, M. Love en voit la cause dans la différence des surfaces d'évaporation des deux hémisphères austral et boréal, où les mers sont dans le rapport de 8 à 5 ; ce qui dès l'apparition du soleil doit produire dans le premier un dégagement d'électricité dont une partie s'élève avec la vapeur d'eau et l'autre s'écoule du sud au nord. Plus tard c'est un courant thermo-électrique des continents à la mer qui produit une perturbation dans le sens inverse.

M. Love termine cette nouvelle communication en donnant l'explication de la rotation de l'aiguille aimantée sous l'influence du mouvement de rotation, à distance, d'un plateau métallique, expérience imaginée par Arago et dont le célèbre physicien n'a pas trouvé le cause. La force centrifuge accumule l'électricité naturelle du plateau vers sa circonférence, comme dans la machine électrique, et l'y établit à un certain état de tension. Cette électricité constitue un véritable courant, dans le sens du mouvement

de rotation du disque, lequel a sur l'aiguille l'effet ordinaire de déviation. Mais il arrive un instant où la communication latérale du mouvement l'emporte sur l'action directrice du courant terrestre et le disque entraîne l'aiguille dans son mouvement. Il suit de cette explication que l'effet du plateau sur l'aiguille doit être d'autant plus marqué qu'il est formé d'une substance plus conductrice offrant, par conséquent, le moins d'obstacles au déplacement du fluide. On a observé, en effet, que les métaux sont tout particulièrement propres à cette expérience, le cuivre principalement; tandis qu'avec le bois et le verre l'effet était peu sensible. Il faudrait, évidemment, pour ces dernières substances, joindre à l'action de la force centrifuge celle des vibrations produites par le frottement, comme dans le cas du plateau de la machine électrique.

M. le Président présente quelques observations à l'appui de la variation de vitesse des sons, et il invite M. Love à étayer son travail de quelques nouvelles expériences et entre autres de celle dont il vient d'entretenir la Société. Il pense qu'il trouvera facilement dans les nombreux laboratoires de Paris tout le concours qu'il lui faut pour cela.

M. Faure demande que M. Love veuille bien expliquer par sa théorie l'électricité dissimulée du condensateur et de la bouteille de Leyde.

M. Limet appelle aussi l'attention de l'auteur du mémoire sur les courants d'induction dont la théorie laisse beaucoup à désirer et qui d'ailleurs se trouve complétement mise en défaut par la machine électro-magnétique de Nollet dont il a rendu compte à la Société dans sa séance du 17 février. Il présume que M. Love est sur la voie qui doit conduire à l'éclaircissement de cette importante question.

M. Love répond qu'il ne demande pas mieux que de faire des expériences et qu'il s'efforcera de répondre au vœu de M. le Président. Il a encore une ou deux communications, sur le même sujet, à faire à la Société et saisira cette occasion pour revenir sur les points qui lui ont été signalés par MM. Faure et Limet. Mais il fait dès à présent observer que s'il ne leur donnait pas, à cet égard, une entière satisfaction, cela ne prouverait rien contre sa théorie; car cela pourrait tenir à certaines particularités de l'équilibre ou du mouvement du fluide électrique qui nous sont encore inconnues et que l'avenir révèlera peut-être; ce qui se comprend d'autant mieux que nous sommes encore loin de savoir tout sur le mouvement des liquides et des gaz, agents autrement saisissables que l'électricité.

M. Richoux donne ensuite communication d'une note sur quelques modifications des disques-signaux proposées par MM. Desgoffe et Jucqueau.

Dès l'origine des chemins de fer on a senti la nécessité d'indiquer, par des signaux faits aux mécaniciens, les points de la voie qu'ils ne devaient pas franchir.

Lorsque les embarras qui nécessitent l'arrêt des trains se renouvellent périodiquement et aux mêmes points, aux stations, par exemple, les signaux sont faits à l'aide d'un appareil appelé disque ou mât, signal qui consiste en

un disque en tôle de 1m 00 de diamètre, mobile autour d'un axe vertical de manière à pouvoir se présenter parallèlement ou perpendiculairement à la voie, suivant que celle-ci est libre ou embarrassée; dans le premier cas, le disque se trouve effacé par rapport au mécanicien; dans le second cas, il présente sa face rouge qui commande l'arrêt, le mécanicien doit alors avancer au delà du disque pour se couvrir en cas d'un nouveau train et s'arrêter avant l'aiguille protégée par le disque, c'est-à-dire avant d'entrer sur la voie qu'il s'agit de fermer.

Les premiers disques furent d'abord placés auprès des aiguilles et manœuvrés directement par l'aiguilleur, mais l'accroissement de vitesse des trains, et l'augmentation du trafic ne tardèrent pas à imposer l'obligation de reporter les disques en avant des aiguilles et de les *manœuvrer à distance.*

Les disques furent alors mus au moyen d'un levier oscillant dans un plan vertical autour d'un axe horizontal. Ce levier placé près de la station fut mis en relation avec le signal, au moyen d'un ou deux fils agissant sur un levier ou sur une poulie fixé à la base de l'arbre porte-disque de manière à le faire tourner d'un quart de tour.

La distance du disque au levier placé à la station fut de 500m, mais l'accroissement de la longueur des gares résultant de l'augmentation du trafic fit augmenter cette distance, qui atteint aujourd'hui 1,000 et 1,200 mètres. On comprend la nécessité d'une si grande longueur de fil, quand on voit que certaines stations ont jusqu'à 1,000m de longueur, soit 500m de l'axe à l'origine des garages et qu'il faut de 300 à 500m pour que le mécanicien puisse arrêter son train.

La grande distance qui sépare alors le signal de la station fait que, dans beaucoup de cas, la configuration du terrain ou des obstacles locaux s'opposent à ce que l'aiguilleur puisse voir le disque. De là la recherche des moyens propres à constater la réalité de la transmission du signal.

Au nombre de ces moyens figurent les mâts de retour ou signaux placés entre les disques principaux et la station en un point visible de la gare.

Les indications qui précèdent suffisent pour montrer que tout signal répétiteur doit satisfaire aux conditions suivantes : être commandé par le disque principal pour donner une répétition réelle et se trouver à l'abri de dérangements particuliers.

Examinons comment MM. Desgoffe et Jacqueau remplissent ce programme, mais auparavant indiquons comment fonctionnent les disques: les appareils, avons-nous dit, peuvent être commandés par deux fils ou par un seul : dans le premier cas, l'un des fils agit seul pour amener le disque dans une direction perpendiculaire à la voie et le second fil est entraîné par un mouvement de rotation imprimé au signal par le premier.

Lorsqu'il n'y a qu'un seul fil, le levier de manœuvre agit sur ce fil pour amener le disque parallèlement à la voie (voie ouverte) et cet appareil est

maintenu dans cette position sans le secours de l'aiguilleur, par un poids fixé à l'extrémité du levier de manœuvre qui a pris une position horizontale.

Un contre-poids placé à la base du mât tend constamment à ramener le disque dans sa seconde position, c'est-à-dire perpendiculairement à la voie ou au rouge (voie fermée), lorsqu'on soulève le levier de manœuvre de manière à laisser agir ce contre-poids.

Lorsque la manœuvre du signal se fait au moyen de deux fils, MM. Desgoffe et Jucqueau placent le mât de rappel entre le disque et le levier de manœuvre, en un point visible de la station. Le mât de rappel est en tout semblable au disque à distance, il est fixé entre les deux fils et porte à sa base un levier traversant le mât de part en part. Chaque extrémité de ce levier est reliée au fil le plus voisin par un bout de chaîne, allant du répétiteur vers le signal principal. Les deux portions de chaîne ainsi établies sont parallèles et se font vis-à-vis.

Par suite de ces dispositions, lorsqu'on vient à faire agir le levier de manœuvre, le fil qui par sa traction met le signal en jeu se rapproche de la station, ramène à lui l'extrémité de la chaîne du répétiteur, attachée à ce fil et la rapproche du mât. Par ce fait, la chaîne est détendue et se trouve sans action sur le répétiteur; mais par contre, le second fil entraîné par le signal principal tire la chaîne attachée à la seconde extrémité du levier que traverse le mât de rappel et le force à tourner, c'est-à-dire, à reproduire le signal déjà donné.

Si l'un des fils casse pendant la manœuvre, le répétiteur ne fonctionne plus, et par ce seul fait, l'aiguilleur est prévenu du dérangement.

Lorsque le signal est manœuvré par un seul fil, il faut évidemment, pour que le mât de rappel ne fonctionne qu'après le disque, que ce dernier dépasse la position dans laquelle on veut le fixer, de telle sorte que le contre-poids placé à son pied le ramène à la position voulue en entraînant le répétiteur. Il suffit donc, pour obtenir ce résultat, de relier le répétiteur au fil de manière à ce qu'il puisse en suivre les mouvements et tourner d'un quart de tour.

On satisfait à cette condition en posant à la base du répétiteur un excentrique autour duquel s'enroule deux chaînes dont les extrémités viennent se fixer sur le fil de part et d'autre du répétiteur.

La disposition employée par MM. Desgoffe et Jucqueau, pour permettre au levier de manœuvre de dépasser la position voie ouverte, et de revenir à cette même position est assez mauvaise; elle serait avantageusement remplacée par la disposition suivante empruntée à la manœuvre Robert. Le guide du levier dans cette manœuvre est formé par un arc en fer flexible, portant un taquet d'arrêt, avec plan incliné. Le levier franchit aisément le taquet, lorsqu'il se présente dans le sens convenable; mais il se trouve arrêté lorsqu'il marche en sens inverse jusqu'à ce qu'on fasse fléchir l'arc pour dégager l'arrêt. Si dans ces conditions le fil vient à rompre entre le disque et le répétiteur lorsque le mât est à la position *voie ouverte*, le contre-

poids du levier de manœuvre agit et entraîne le répétiteur qui vient indiquer dérangement. Si le fil se casse entre le répétiteur et le disque, le contre-poids de ce dernier fait passer les deux signaux au rouge, c'est-à-dire à la position qui commande l'arrêt, et l'aiguilleur en est informé *de visu*. Enfin si la rupture du fil a lieu lorsque le signal est au rouge, les appareils restent au repos, par suite ne peuvent donner lieu à aucun accident, et le sifflet du mécanicien arrêté, indiquant à l'aiguilleur que la voie est fermée, permet à celui-ci de constater la rupture et lui donne le temps d'aller au disque pour l'ouvrir.

Résumant ce qui précède, nous voyons que les mâts de rappel disposés par MM. Desgoffe et Jucqueau remplissent complétement les conditions ci-dessus énoncées et qu'ils ont en outre l'avantage de n'exiger pour leur établissement aucun fil supplémentaire.

Les mâts de rappel rendent les signaux visibles de la station, et permettent de constater les dérangements qui pourraient survenir aux appareils par suite de la rupture des fils; mais ils laissent subsister les causes d'accidents qui peuvent survenir la nuit, lorsque le feu attaché au disque vient à s'éteindre ou que le verre rouge qui se place devant le feu pour indiquer l'arrêt vient à casser. On a récemment proposé l'emploi de piles thermo-électriques, mais il est évident que ces appareils ne peuvent indiquer si le verre rouge est cassé, ou si le noir de fumée qui se dépose sur les verres de la lampe, lorsque sa cheminée vient à rompre, n'est pas en assez grande abondance pour que la lumière ne puisse se transmettre à l'extérieur.

L'insuffisance de ce moyen laisse toute responsabilité à l'aiguilleur chargé de l'entretien et de la manœuvre des signaux; il a conduit à la recherche des signaux s'adressant directement au mécanicien.

Les signaux proposés dans ce but par MM. Desgoffe et Jucqueau sont des cloches mises en mouvement par les disques. Le mécanisme employé pour leur manœuvre est constitué de la manière suivante:

Un bâtis support en fonte, ayant à la partie supérieure la forme d'un manchon reçoit un arbre vertical traversé par un arbre horizontal, terminé à chacune de ses extrémités par un petit galet. Ces galets traversent le manchon qui est évidé de manière à leur permettre de tourner d'un quart de tour et de monter lorsqu'on les soulève. — L'arbre vertical qui traverse le manchon reçoit une poulie clavetée, mise en relation avec le disque par une chaîne sans fin; les deux poulies sur lesquelles passe la chaîne ont même diamètre, de telle sorte que les mouvements angulaires du mât et de l'arbre des galets sont égaux.

La base supérieure de cette poulie sert de surface de roulement aux galets, et forme en même temps le point d'appui sur lequel repose l'axe vertical dont ils sont solidaires. Cette surface de roulement porte quatre encoches espacées à 90°.

Ces encoches peuvent être considérées comme appartenant à deux diamètres de la poulie espacés entre eux de 90°, la portion de circonférence

comprise entre chaque extrémité de ces deux diamètres est occupée par une partie de surface hélicoïdale allant du fond d'une encoche à la partie supérieure de l'autre, et les deux surfaces ainsi situées aux deux extrémités des diamètres que nous venons de considérer sont inclinées en sens inverse afin que les deux galets puissent monter et descendre en même temps lorsqu'ils viendront à passer d'une encoche dans l'autre.

C'est également entre ces diamètres que se trouvent les évidements du manchon. Ces évidements sont à peu près triangulaires; ils ont pour base horizontale l'arc que peut décrire la poulie, c'est-à-dire l'arc compris entre les deux encoches opposées; l'un des autres côtés du triangle est vertical et correspond à une des positions extrêmes du galet et lui sert de guide lorsqu'il vient à monter; le troisième côté est formé par une hélice, faisant un quart de tour, en sorte que si le galet monte, lorsqu'il est au pied de cette hélice, il est obligé de suivre cette courbe qui le ramène à toucher le second côté du triangle, c'est-à-dire lui fait parcourir en montant l'espace compris entre les deux encoches.

Ceci posé, si l'on soulève l'axe vertical qui porte les galets, lorsque la voie est fermée, c'est-à-dire lorsque les galets sont appuyés contre l'arête verticale du triangle que forme l'évidement, cet arbre arrivé en haut de sa course et abandonné à lui-même, retombera dans la position qu'il occupait avant ce mouvement et sa course pourra servir à mouvoir une cloche; or si l'on suppose que ce soit la machine qui en faisant fléchir le rail ou par tout autre moyen opère le soulèvement de l'arbre, la cloche sera mise en branle et donnera le signal d'arrêt, signal qui pourra également se trouver transmis à la station par une seconde cloche.

Si au contraire la voie est ouverte et qu'un train passe, l'arbre vertical sera soulevé ainsi que les galets qui rencontrant le côté hélicoïdal de l'ouverture ont décrit un arc de 90° pour revenir à la position précédente, voie fermée indépendamment du disque : tout train qui passera alors, quand même le disque n'aurait pas été fait, sera averti par la sonnerie que la voie est fermée. Lorsque le galet passe ainsi de la voie ouverte à la voie fermée, l'arbre vertical lié aux galets décrit 1/4 de tour et par suite la came qu'il porte et qui fait agir la cloche échappe la came que met en mouvement cet appareil. Si l'aiguilleur ferme alors la voie pour couvrir le train qui vient d'entrer en gare, la poulie liée au disque tourne, fait passer sous le galet la surface hélicoïdale qui relie les deux encoches, et le galet reste en place parce qu'il appuie contre le côté vertical de l'encoche.

Cette disposition est très-ingénieuse, mais elle suppose que le mécanicien entendra la cloche; or c'est ce qui pourra fort bien ne pas arriver, ainsi que l'indique l'expérience faite sur d'autres appareils, et nous ne pensons pas qu'on puisse remédier à ce vice, en reportant ces sonneries à 50 ou 80 mètres en avant du disque, ainsi que le proposent les inventeurs.

En résumé, le système de répétiteur nous paraît parfaitement compris et de nature à rendre de bons services, dans les cas spéciaux où l'on est

obligé de recourir à ce genre d'appareils, mais nous croyons que les sonneries ne sont pas d'une efficacité complète.

M. Emile Barracly fait ensuite la communication suivante sur les moteurs à vapeur.

Depuis longtemps on recherche les moyens, soit d'économiser la quantité de combustible dépensée par les moteurs, soit d'employer des combustibles inférieurs, soit enfin de les remplacer totalement.

Au point où se trouve aujourd'hui l'industrie, il est bon d'examiner les améliorations qui sont proposées de toutes parts et dans quelle voie il est le plus avantageux de se diriger de préférence.

Les tentatives d'amélioration et de perfectionnement de moteurs actuels sont de quatre genres :

1° On tend à perfectionner les moteurs à vapeur connus;
2° On veut employer l'action des gaz inflammables pour constituer des machines à détonations ;
3° On veut trouver une machine à air qui marche industriellement;
4° Enfin on essaye d'utiliser l'électricité pour en tirer une force.

Tout d'abord, et pour les machines à vapeur, il existe des tendances parfaitement définies ; les essais faits de toutes parts tendent à diminuer, autant que possible, les frottements, à restreindre l'espace aujourd'hui nécessaire pour l'installation de la machine, à diminuer le prix d'achat et à rendre l'entrée et la sortie de vapeur indépendantes l'une de l'autre.

Parmi les nombreuses machines qui ont été établies dans le but de satisfaire à ces conditions nous en avons examiné une dont le fonctionnement est assez original pour être signalé ici :

M. Bertrand, mécanicien, a fait fonctionner devant nous une machine sans bielle et sans tige de piston composée d'un cylindre horizontal fermé des deux bouts et contenant un double piston.

L'arbre horizontal moteur pénètre au centre et au milieu du cylindre et porte une manivelle dont le bouton est pris dans une glissière pouvant se mouvoir dans une coulisse verticale placée au milieu de deux pistons qui sont solidaires l'un de l'autre.

Le volant, les cames de détente, les poulies ou roues dentées de transmission de mouvement peuvent être disposées sur l'arbre moteur dont la manivelle a pour longueur la moitié à peu près du diamètre du cylindre.

Deux tiroirs commandent en général l'entrée et la sortie de vapeur qui pénètre tantôt d'un côté, tantôt de l'autre du cylindre.

Cette machine, qui est de l'invention de M. Sibon n'occupe qu'un très-petit espace, comme on peut bien le comprendre, puisqu'elle n'a ni bielle, ni tige de piston; le frottement paraît moindre dans ce genre de machine que dans les machines ordinaires quoiqu'il y ait quatre points morts au lieu de deux qui existent en général.

Il y a dans l'exemple que nous venons de citer une transformation immédiate du mouvement alternatif en mouvement circulaire continu qui sera curieuse à étudier dans ses résultats; aussi comptons-nous donner ultérieurement des détails plus complets sur cette nouvelle machine lorsque des expériences assez longues nous permettront de fournir des résultats exacts, qui pourront servir de points de comparaison.

Mais les services des machines à vapeur sont connus, on peut préciser exactement les avantages que l'on peut obtenir et l'économie à laquelle on pourra parvenir, soit comme achat premier de la machine, soit comme consommation journalière de combustible.

En somme, quels que soient les progrès des machines à vapeur, elles consommeront toujours une quantité assez considérable de combustible et devront un jour ou l'autre être remplacées totalement et partiellement par des machines consommant moins de leur nature, c'est-à-dire par les machines à air, à vapeur régénérée, à gaz, ou à détonations.

Je commencerai tout d'abord par établir que j'appelle machine à détonations toutes machines dans lesquelles la force motrice est obtenue par la combinaison de plusieurs gaz de natures différentes sous une action électrique quelconque.

Et si j'insiste sur cette dénomination c'est pour éviter l'erreur qui pourrait résulter des causes variées que l'on attribue à la production de la force motrice et la confusion que l'on pourrait établir de ce genre de machines, avec les machines dites à air.

Pour les machines dans lesquelles plusieurs gaz sont introduits soit préalablement, soit ultérieurement mélangés, afin d'être enflammés à un moment donné, on obtient cette inflammation par l'étincelle électrique, et la combinaison des gaz développe une chaleur considérable et une grande dilatation qui détermine le mouvement des pistons.

Je n'admets pas, sauf démonstration palpable, que des gaz puissent produire une chaleur considérable sans qu'il y ait combinaison; or, toutes les fois qu'il y aura combinaison instantanée pour produire une force, je dénommerai les machines où cette force est employée, machines à détonations, sans tenir toutefois d'aucune manière à cette dénomination qui n'a point d'importance en elle-même.

On a essayé depuis longtemps d'utiliser la combinaison des gaz pour constituer une force, et les essais faits dans cette voie remontent jusqu'à 1809.

La marche suivie, depuis cette époque jusqu'à ce jour, est rationnelle ; on a commencé par faire détonner des mélanges de gaz hydrogène avec l'oxygène pur; puis des mélanges d'hydrogène pur et d'air dans les proportions convenables pour créer des mélanges détonnants, et l'on a échoué, comme cela devait être, parce que l'effet que l'on obtenait était un effet brisant presque insaisissable et ne pouvant se prêter aux transformations mécaniques qui exigent des efforts plus continus et n'admettent pas les effets instantanés.

Toutes les forces qui sont trop instantanées sont brisantes et cassantes et tendent à détruire ; les forces qui tendent à produire sont au contraire plus prolongées et plus continues.

Une première cause d'insuccès a donc été l'emploi des mélanges de gaz trop purs et trop actifs, ou l'emploi de mélanges trop bien proportionnés qui se combinaient complétement et instantanément.

Une autre cause d'insuccès tenait aussi à la difficulté de produire régulièrement et industriellement l'inflammation nécessaire ; les moyens employés n'étaient point assez industriels et nécessitaient une surveillance trop minutieuse, en donnant des effets qui n'étaient pas assez certains.

Aussi, et pendant longtemps, tous les essais furent-ils dirigés sur des machines à simple effet dont le piston communiquait par une face avec l'atmosphère et revenait sur lui-même, soit par le vide intérieur produit, soit par le vide et le propre poids du piston, soit enfin par l'action combinée d'une seconde machine de même nature accouplée avec la première.

Après les machines à simple effet, on essaya les machines pendulaires et les turbines à réaction, mais sans obtenir aucun bon résultat industriel.

Enfin, à ce jour, des essais se poursuivent dans la même voie avec un grand retentissement sur des machines à double effet dont nous allons nous occuper.

Nous laissons de côté toutes questions de personnes et d'antériorités, ce n'est pas ici le lieu de débattre des questions de priorité qui ne regardent pas la Société des Ingénieurs ; je n'examine donc que les machines en elles-mêmes et leur valeur industrielle.

L'une de ces machines représente, à mes yeux, le système de machine à détonation à haute pression, c'est celle connue sous le nom de M. Lenoir.

L'autre de ces machines est une machine à détonation que je dénomme à basse pression, et c'est l'œuvre de M. Hugon.

La machine Lenoir se compose d'un cylindre, tel que les cylindres à vapeur ordinaires, muni d'un piston, d'une tige et d'une bielle pour transmettre le mouvement.

Une machine de Rhumkorff est en communication avec des fils placés, soit au milieu, soit aux extrémités du cylindre, et le gaz hydrogène carboné arrivant d'un côté au tiroir, l'air atmosphérique arrive de l'autre, de telle sorte que le mélange des deux gaz ne s'effectue que dans le tiroir et dans le cylindre même.

L'action a lieu comme suit : On commence par mouvoir à la main le volant pour faire avancer le piston et aspirer une certaine quantité des deux gaz, puis l'étincelle passe, enflamme le mélange et, sous la haute température qui se développe, l'air se dilate et pousse le piston en avant jusqu'à la fin de sa course ; puis le piston revient sur lui-même et le phénomène se produit de l'autre côté.

Une enveloppe d'eau entoure le cylindre et empêche le trop grand échauffement des parois qui pourrait résulter de la continuité de la température très-élevée qui existe à l'intérieur du cylindre moteur.

Loin de nous l'idée de faire une critique d'une machine que l'on expérimente encore, mais nous croyons utile de ne pas exagérer la portée industrielle des machines de ce genre.

Tout d'abord, et industriellement, li existe un gvave inconvénient dans ces machines, c'est que le départ ne peut s'effectuer de soi-même, il faut d'abord aspirrer une quantité de gaz suffisante pour produire de la force et cette aspiration exige l'action d'un homme pour de petites machines, et l'action autre machine pour une machine de quelque puissance.

End outre, cet inconvénient de ne pouvoir démarrer seul et à vide est bien plus considérable quand il faut démarrer avec une charge; je ne me rends même pas bien compte qu'il soit possible d'effectuer le démarrage daus cette dernière condition.

De plus, les mélanges explosifs que l'on obtient n'agissent que parce qu'ils se *combinent* et à cet égard je ne puis admettre une autre explication de la haute température qui est développée; il résulte de là que pour une forte machine je redouterais très-fort la combinaison ou détonation d'un fort volume de mélange et je craindrais beaucoup l'explosion des cylindres quelle que fût du reste leur solidité.

Les considérations précédentes sont tirées des lois connues de la physique, et, si elles n'étaient point vraies, il en résulterait que les gaz ne se conduiraient pas dans la machine Lenoir, comme ils ont eu l'habitude de se conduire jusqu'à ce jour dans toutes les expériences qui ont été faites par nos chimistes et nos physiciens.

Une autre conséquence résulte de la disposition même des machines Lenoir et de ce fait que la puissauce s'obtient par l'échauffement rapide et immédiat des gaz.

Cette conséquence c'est que le mouvement de la machine peut être décomposée en deux parties bien distinctes; pendant la première partie, la pression est faible puisqu'on fait l'aspiration des gaz, cette première partie doit durer un certain temps, soit moitié, soit tiers, soit quart de la longueur du cylindre; l'étincelle électrique en passant détermine le point de départ de la seconde partie, pendant laquelle la puissance arrive d'un seul bond à son maximum, soit huit atmosphères, par exemple.

Or, nous pensons qu'un travail dans ces conditions d'irrégularité est mauvais pour l'industrie en général, lorsque la différence entre les deux parties est trop grande et que le passage de l'une à l'autre est trop rapide.

Maintenant et au point de vue de machines de faible force, il est évident que les expéritences de M. Lenoir sont très-intéréssantes puisque les machines de son système permettent la suppression de la chaudière et par conséquent l'établissement de petites machines à tous les étages d'une maison, sans embarras et sans grand danger.

11

D'autre part, l'emploi des gaz, substitué à celui des combustibles ordinaires permet d'utiliser les tourbes, les lignites, les déchets de combustibles qui, précédemment, ne pouvaient point servir à créer de la force, ressource bien précieuse pour certains pays.

Mais pour que la machine Lenoir donne tous les avantages qu'elle peut fournir, il faut que le prix de la quantité de gaz nécessaire pour produire la force d'un cheval vapeur ne soit pas supérieur, ou au moins trop supérieur, au prix de la production de la vapeur pour une machine de même force, et des expériences seraient nécessaires pour faire cette importante constatation.

D'après ce que nous venons d'établir :

Les machines à détonation à haute pression ne sont utilisables que pour de petites forces et nullement pour de grandes, de peur d'explosions des mélanges et par suite des difficultés diverses inhérentes à leur nature.

Ces machines ne pourraient être appliquées en général qu'à des outils fonctionnant continuellement dans le même sens, parce qu'elles ne peuvent démarrer seules, même à vide.

Enfin, et pour dire toute notre pensée, elles représentent constamment l'inconvénient d'une force irrégulière se traduisant mal et difficilement en travail mécanique industriel ordinaire et devant consommer beaucoup trop de gaz pour être réellement économique.

Le système des machines à détonation présente évidemment des chances d'avenir très-remarquables, mais nous pensons que la machine à haute pression, système Lenoir, n'est qu'une machine de transition, utile, en ce sens qu'elle indique une nouvelle voie, mais incomplète, car elle ne résout pas les problèmes pour lesquels elle paraît avoir été conçue.

Nous remettons à une prochaine séance la continuation de notre étude sur les moteurs.

SÉANCE DU 1er JUIN 1860

Présidence de M. Forqcenot, *vice-président*

M. Faure dépose sur le bureau au nom de M. De Comberousse, ancien élève de l'école centrale, et membre de la Société, le premier volume de son cours de mathématiques à l'usage des candidats à l'Ecole Centrale des arts et manufactures et de tous les élèves qui se destinent aux écoles du gouvernement;

Et au nom de M. Du Tremblay diverses brochures relatives aux machines à vapeur combinées, qu'il a inventées.

La parole est donnée à M. Barrault, pour continuer sa communication sur les moteurs.

Nous avons indiqué précédemment, dit M. Barrault, les inconvénients de la machine Lenoir; les objections qui nous ont été faites nous ont engagé à examiner plus attentivement encore cette machine que nous sommes allé voir fonctionner chez M. Lévêque, mécanicien.

L'examen nouveau que nous avons fait a confirmé notre opinion.

On nous disait que la machine Lenoir n'était pas une machine à détonation, mais bien une machine à air chaud, dont l'effet utile résultait de la combustion de 5 0/0 de gaz hydrogène carboné.

Tout d'abord nous avons constaté qu'il n'existait aucun moyen de se rendre compte certainement et régulièrement de la dépense comparative du gaz et de l'air, et que par conséquent le chiffre de 5 0/0 n'était qu'une simple évaluation.

Nous avons constaté également que le rapport des ouvertures de tiroir pour l'introduction du gaz et celle de l'air extérieur étaient dans le rapport de 1 à 3, ce qui semble prévoir une dépense plus considérable que celle de 570 de gaz et 95 d'air indiquée par M. Lenoir, d'autant plus que le gaz est introduit sous pression, tandis que l'air atmosphérique pénètre à la seule pression ordinaire.

Enfin nous avons pu constater et vérifier, à trois reprises différentes, qu'il y a une détonation à l'intérieur du cylindre, toutes les fois que l'étincelle électrique passe, puisque cette détonation se fait entendre directement et se manifeste au dehors lorsque le tiroir n'est pas complétement et exactement fermé au moment où passe l'étincelle électrique.

Du reste, en cherchant à contrôler notre opinion personnelle, nous avons constaté un fait qui semble la mettre hors de doute.

M. Hugon, dont nous avons cité la machine à basse pression à détonation, a fait, il y a deux ans, une machine *identique* à celle de M. Lenoir, sauf que l'on y introduit le gaz et l'air mélangés au lieu d'y introduire séparément le gaz et l'air pour les mélanger dans le cylindre.

Or, la machine de M. Hugon a été expérimentée sous la forme horizontale par cet habile mécanicien avec le soin qu'un inventeur apporte à faire réussir sa chose; ni le temps, ni l'argent n'ont été épargnés, et M. Hugon a cependant dû attendre et chercher des perfectionnements à cette machine parcequ'elle présentait justement les mêmes défauts et inconvénients que nous avons signalés dans la machine Lenoir.

Pour avoir une preuve officielle qui nous permît d'affirmer ce que nous affirmons ici, nous avons constaté au Ministère des travaux publics, de l'agriculture et du commerce la présence du brevet de M. Hugon, en date du

17 septembre 1858, qui contient le détail de cette machine indiquée verticale dans le dessin au lieu d'être horizontale, ce qui n'est pas une différence, d'autant plus que ces essais faits par M. Hugon ont eu lieu sur une machine horizontale.

M. Hugon, ayant échoué dans les mêmes conditions que représente aujourd'hui la machine Lenoir, imagina d'abord de produire séparément l'action de détonation et de recueillir cette action par intermédiaire.

Cette nouvelle condition satisfait beaucoup mieux, d'après nous, aux exigences du problème. Pour l'appliquer on peut avoir recours à un liquide convenable tel que l'eau, placé dans un tube recourbé en U, disposé de telle façon que la seconde branche soit plus longue que la première et s'infléchisse ensuite suivant une ligne horizontale ou inclinée.

La plus petite branche est exactement fermée à sa partie supérieure par un couvercle à demeure dans lequel passeront les fils d'une machine de Rhumkorff et les tubes nécessaires pour amener l'air et le gaz préalablement mélangés en proportions convenables, c'est-à-dire dans les proportions de 1 partie de gaz pour 9 d'air, ou mieux, dans les proportions de 1 pour 8.

L'autre extrémité du tube qui est horizontale ou inclinée sera fermée par une soupape et pourra se trouver plongée sous l'eau.

Si le tube en U est rempli d'une certaine quantité de liquide, ce liquide prendra son niveau dans les deux branches et lorsque le mélange gazeux arrivera, il pourra occuper l'espace qui lui aura été réservé dans le petit tube, espace qui sera compris entre la partie supérieure de la couche de liquide et le couvercle.

Si l'on fait détonner les gaz, le développement produit par l'échauffement qui résulte de la combinaison repoussera le petit tube, et le fera monter dans le grand tube.

Dans ce mouvement, l'air qui sera contenu dans la branche horizontale ou inclinée se trouvera comprimé, et une partie s'échappera en soulevant la soupape extrême.

Aussitôt que la quantité d'air expulsée sera suffisante pour rétablir l'équilibre, la soupape se refermera et la colonne d'eau reviendra sur elle-même par suite du vide qui se détermine naturellement dans la petite branche du tube par la condensation des gaz nouveaux produits.

En vertu de ce mouvement de réaction, il se détermine un vide dans la grande branche du syphon, et, s'il existe une communication de cette grande branche avec un cylindre dans lequel se trouve un piston et qu'on ouvre cette communication, à ce moment l'air qui se trouvera dans ce cylindre sera aspiré et le piston se mettra en marche dans la direction de l'aspiration.

Supposons maintenant qu'il y ait deux systèmes de tubes semblables, fonctionnant successivement et qui se trouvent en communication chacun

avec l'une des parties du cylindre dans lequel peut se mouvoir le piston, il est évident que le piston prendra une marche alternative, si l'on a soin de mettre alternativement en communication avec l'air atmosphérique chacune des parties du cylindre qui sera opposée à celle dont l'air est aspiré par le tube en U et rejeté par l'effet de la détonation suivante, de telle sorte que le mouvement est régulier.

Mais en aspirant de l'air il existe des pertes de force assez grandes par suite des fuites qui se font par les joints, et surtout par suite de la faculté que possède l'air de se détendre; en effet, l'équilibre tend toujours à s'établir entre la pression dans le tube et celle derrière le piston; de telle sorte que le vide du tube diminue, non-seulement en vertu de la quantité d'air aspirée, mais encore parce que l'air se dilate et s'équilibre peu à peu.

Afin d'éviter ces inconvénients, M. Hugon a encore modifié cette seconde disposition; et il a imaginé de remplir d'eau ou de liquide le cylindre moteur de telle sorte que le piston de ce cylindre se meut constamment dans des liquides par suite de l'aspiration alternative qui a lieu par les tubes à détonation, de la même manière que nous avons indiquée plus haut pour l'air.

L'eau n'étant pas dilatable, le vide se maintient jusqu'à la fin et aspire, justement derrière le piston du cylindre, la même quantité d'eau qui a été expulsée par l'effet de la détonation.

On voit que, dans ces deux dernières dispositions, le piston fonctionne à froid sous la pression atmosphérique et par suite à basse pression; de plus, la production de la force étant indépendante du cylindre, l'instantanéité de force ne constitue plus sur le piston même une alternative de hautes et basses pressions successives, difficiles à régulariser en mouvement mécanique et difficile à utiliser en travail industriel.

Dans cette étude que nous venons de faire, nous avons voulu, à propos d'une machine qui fait sensation, indiquer les défauts qui peuvent l'empêcher de donner, telle qu'elle est, les remarquables résultats que l'on est en droit d'espérer de l'emploi des forces détonnantes produites par la combinaison des gaz.

M. Faure ayant rappelé les observations qu'il avait présentées dans la séance précédente, et ayant indiqué quelques résultats de calculs obtenus par M. Brüll, qui ne sont pas d'accord avec l'opinion émise par M. Barrault, au sujet de la machine Lenoir, M. Barrault indique que le gaz d'éclairage, les gaz hydrogènes et autres peuvent se combiner de deux façons avec l'air, soit lentement, soit immédiatement.

Quand il y a combinaison lente d'une petite quantité de gaz mélangé à une grande quantité d'air, soit cinq pour cent par exemple, il y a combustion, et nous pensons qu'aucun effet mécanique ne peut être obtenu par cette combustion.

Quand il y a combinaison rapide et instantanée, il y a ce que nous avons appelé détonation, et cette action demande, pour être utilisée, des dispositions spéciales de nature à éviter qu'il y ait alternativement sous le piston du cylindre une pression très-faible suivie d'une pression très-forte qui se développe d'une manière brusque et trop rapidement, pour permettre un bon travail industriel. (Des gaz commencent à agir par détonation à partir de la proportion de 10 0/0.)

La suite de la discussion est ajournée à une autre séance.

M. Desmousseaux de Givré, donne ensuite l'analyse de son mémoire sur la coulisse Stephenson.

M. Philipps, ingénieur des Mines, a publié en 1853 une théorie de la coulisse de Stephenson, et M. Desmousseaux de Givré s'est posé le problème de trouver des équations de même forme que celle donnée par M. Philipps (1), par une méthode plus élémentaire et de trouver un mode géométrique de réglementation. Tel a été le but de ses recherches, et il croit l'avoir atteint; toutefois M. Desmousseaux de Givré déclare que, si son travail peut être de quelque utilité aux praticiens, le mérite en reviendra surtout à M. Philipps.

Le résultat principal est de ramener la réglementation de la coulisse à celle de l'excentrique circulaire.

M. Desmousseaux de Givré distingue trois appareils dont les effets sont essentiellement différents :

1° La coulisse avec barres droites;

2° La coulisse fixe.

3° La coulisse mobile avec barres croisées.

Une figure simple fait reconnaître quel est celui de ces appareils qui satisfera le mieux à des conditions données.

L'auteur a comparé d'abord les distributions à barres croisées et à barres droites, et les résultats ont été conformes aux règles énoncées dans *le Guide du mécanicien*.

Enfin, le cas où des calages différents sont donnés à deux excentriques a été également examiné par M. Desmousseaux de Givré, qui, en terminant, observe que ces résultats comportent diverses erreurs dont l'importance est très-variable, mais peut aisément s'apprécier dans un appareil en examinant sa disposition, et que les machines auxquelles sa théorie s'applique le mieux sont celles dont la distribution est la plus régulière.

M. le Président, en remerciant M. Desmousseaux de Givré de sa communication, fait ressortir la simplicité des solutions données par l'auteur.

SÉANCE DU 15 JUIN 1860

Présidence de M. FORQUENOT, Vice-Président.

La parole est donnée à M. LOUSTAU, Trésorier, pour l'exposé de la situation financière de la Société.

L'approbation des comptes présentés par M. le Trésorier est mise aux voix et adoptée.

M. le Président adresse à M. le Trésorier de vifs remercîments pour sa bonne et active gestion. Il signale ensuite le chiffre élevé des sommes non rentrées encore, et il invite les retardataires à se mettre en règle.

Plusieurs membres demandent qu'on s'occupe des moyens de faciliter le recouvrement des cotisations des membres qui n'habitent pas à Paris.

M. le Président répond que cette question est de la compétence du comité, qui s'en est saisi déjà et continuera à y apporter son attention.

M. FORQUENOT fait connaître, au nom de M. Vuigner, la situation de la souscription du capital exigé pour la déclaration d'utilité publique; soixante-quinze membres ont adhéré, jusqu'à ce jour, à l'exonération de la cotisation annuelle, et les dons volontaires s'élèvent à 15,000 fr. environ. M. Vuigner annonce qu'il a déposé deux cents exemplaires des nouveaux Statuts de la Société, en renouvelant la demande de déclaration d'utilité publique.

L'ordre du jour appelle l'analyse par MM. Brüll et Ermel du mémoire de M. Carvallo, Ingénieur des Ponts et chaussées, sur la théorie de l'injecteur de M. Giffard.

Ce travail, dont lecture est donnée par M. Brüll, ne peut être résumé, et sera inséré au Bulletin, en même temps qu'une lettre de M. Carvallo à M. Ermel, dont communication est donnée à la Société.

M. FAURE est d'avis qu'il y a lieu d'appliquer le théorème de Bernouilli au mouvement du fluide dans le tube divergent, ainsi que le propose M. Bonnet dans une note que MM. Brüll et Ermel ont analysée en même temps que le mémoire de M. Carvallo. Il fait remarquer que, dans la théorie de Manoury Dectot, on retrouve la même explication des fonctions du tube dynatransfère.

M. Thomas indique que M. Ermel, qui n'a pu assister à la séance, a émis dans une autre circonstance l'opinion que l'injecteur n'allégerait pas les locomotives si l'on voulait utiliser leur chaleur perdue ; cette opinion, que M. Ermel appuyait sur l'impossibilité de réchauffer l'eau d'alimentation, quand on se sert de l'injecteur, lui semble contraire à l'une des conclusions du mémoire de M. Carvallo, approuvé sans réserve par le rapport dont il vient d'être donné lecture. M. Thomas pense que, pour tout appareil, à côté de la théorie purement mathématique, il existe une théorie industrielle, et celle-ci lui paraît n'avoir pas été prise en considération dans le mémoire de M. Carvallo.

M. Carvallo, invité à assister à la séance, fait remarquer qu'il a traité longuement la question d'utilisation de la chaleur, mais que les rapporteurs n'ont pas cru devoir entrer dans la discussion de cette partie de sa théorie, à cause de l'incertitude sur la valeur de l'équivalent dynamique de la chaleur, qui leur a servi de base. Il résume les conclusions de son mémoire où il établit les avantages théoriques de l'injecteur, et il rappelle qu'il n'a pas voulu établir le rapport de la valeur industrielle de cet appareil et des pompes, cette question lui paraissant purement expérimentale.

M. Thomas répond qu'aucune expérience ne peut détruire le fait de l'impossibilité, avec l'appareil Giffard, de réchauffer l'eau d'alimentation, et que ce fait seul entraînerait une augmentation de 7 à 8 0/0 du poids de la chaudière et de la dépense de combustible, si l'on voulait utiliser la chaleur perdue dans les locomotives, comme on le fait généralement pour les autres machines sans condensation, et comme l'ont déjà pratiqué plusieurs compagnies de chemins de fer étrangers, pour les locomotives elles-mêmes.

M. Brull est d'avis que, pour les locomotives, l'utilisation de la chaleur perdue n'est pas la seule condition à remplir, mais qu'il y a à tenir grand compte de la simplicité, de la commodité des appareils et du facile entretien. Si l'on voulait d'ailleurs utiliser la chaleur perdue, on pourrait encore réchauffer l'eau sortant de l'injecteur à une température inférieure à celle de la chaudière.

M. le Président exprime le désir que les éléments de l'étude pratique de l'injecteur soient réunis le plus tôt possible et communiqués à la Société.

NOTE

Sur les chaux, les ciments et les mortiers

PAR

M. LEFRANÇOIS.

I. CHAUX.

La chaux, qui est la base fondamentale de toute construction, doit attirer l'attention de l'Ingénieur et l'architecte; car l'avenir d'un édifice dépend aussi souvent de son bon emploi que de sa qualité.

Il faut donc, avant tout, étudier les chaux de la contrée où l'on doit bâtir, se rendre compte de leur qualité, de leur foisonnement et surtout de la façon dont elles se comportent dans les diverses manières d'être employées.

La pierre à chaux ou pierre calcaire est répandue avec profusion à la surface du globe; elle comprend non-seulement les pierres à bâtir, mais encore le marbre et l'albâtre.

La chaux proprement dite est toujours le produit de l'art; elle est le résultat de la calcination de la pierre, dans des fours en briques où la masse est tenue, pendant plusieurs jours, au-dessus de la couleur rouge-cerise; mais la chaleur et la calcination doivent être dirigées de manière à éviter que la silice contenue dans la pierre n'entre en fusion, car alors la chaux deviendra

impropre aux constructions, et l'on aurait ce qu'on appelle *chaux morte* ou brûlée.

Lorsque la calcination est convenablement opérée, l'eau et l'acide carbonique, chassés par la chaleur, abandonnent la chaux, et il ne reste plus qu'une matière pierreuse, d'un aspect terne et aride, facile à réduire en poudre et qu'on nomme *chaux vive*.

En sortant du four, la chaux vive absorbe l'humidité de l'air, et elle tombe en poudre aussitôt qu'elle en est saturée suffisamment. C'est pourquoi, lorsqu'on veut la conserver bien vive, il faut la renfermer dans des endroits à couvert ou dans des vases bien clos, et surtout à l'abri de toute humidité.

Lorsque la chaux est délitée et qu'elle a absorbé une quantité suffisante d'eau, elle se convertit en pâte. Cette pâte est douce au toucher, si elle provient d'un calcaire pur, et alors on l'appelle *chaux grasse;* mais si elle provient d'un calcaire renfermant de la silice, de l'alumine, de la magnésie, elle est âpre au toucher; elle prend alors le nom de *chaux maigre*.

Quelques espèces de chaux maigres ont la propriété bien précieuse de durcir sous l'eau, ce qui leur a fait donner le nom de *chaux hydrauliques*.

Maintenant on ne distingue plus les chaux en chaux grasses et en chaux maigres, parce que ces dénomimations n'apprennent rien au constructeur; mais on les classe en *chaux hydrauliques* et *chaux non hydrauliques* ou *chaux ordinaires*.

Les chaux non hydrauliques ou ordinaires se rencontrent partout où il y a du moellon à bâtir; et les chaux hydrauliques ne se trouvent que dans quelques localités.

La chaux ordinaire, réduite en pâte, double presque toujours de volume, ce qu'on appelle *rendement* ou *foisonnement*, tandis que la chaux hydraulique donne rarement plus que son volume en pierre.

C'est ce qui explique pourquoi l'emploi de cette dernière

chaux est si coûteux; mais l'excès de dépense qui en résulte est bien compensé par la solidité qu'elle donne aux maçonneries placées dans les endroits humides, en ce que, les convertissant en un seul bloc de pierre elle les met à l'abri des infiltrations et des dégradations de l'eau.

L'emploi de cette chaux se répand chaque jour d'avantage, parce qu'on peut exécuter, avec une rapidité et une facilité dont on ne pouvait autrefois se faire une idée, les ouvrages les plus délicats, et parce que cette chaux, en reliant plus fortement les matériaux qui entrent dans la formation d'un édifice, permet de réduire les dimensions des massifs sans nuire à la solidité de l'ouvrage.

La chaux hydraulique est aussi employée avec avantage dans les maçonneries en élévation, lorsqu'on a besoin que la masse fasse corps promptement, et principalement dans les voûtes.

CHAUX GRASSES.

Il n'y a qu'une seule espèce de chaux grasse, quel qu'en soit le rendement; mais il y a plusieurs espèces de chaux hydrauliques : elles sont classées d'après le temps qu'elles mettent à durcir sous l'eau ou à *faire prise*, comme on dit.

CHAUX HYDRAULIQUES.

On distingue trois classes de chaux hydrauliques.

1° On dit que la *chaux est moyennement hydraulique*, quand elle ne fait prise qu'après 15 ou 20 jours d'immersion et que, continuant à durcir, elle ne peut atteindre qu'une dureté comparable à celle du savon sec.

Une chaux hydraulique fait prise lorsqu'elle peut supporter

une tige de fer verticale présentant à son extrémité inférieure, une surface carrée de un millimètre et pesant trois cents grammes ou chargée d'un pareil poids, y compris celui de la tige.

2° On appelle *chaux hydrauliques* celles qui font prise après 6 ou 8 jours d'immersion, et qui peuvent acquérir la dureté de la pierre très-tendre.

Le foisonnement de cette chaux est constamment faible.

3° On donne le nom de *chaux éminemment hydrauliques* à celles qui font prise du 2e au 4e jour d'immersion et acquièrent une dureté donnant des éclats par le choc et présentant une cassure écailleuse.

Le foisonnement est toujours très-faible.

Ces chaux doivent la précieuse qualité de durcir sous l'eau, à la présence de la silice, de l'alumine, de la magnésie et de l'oxide de fer mélangés avec le calcaire pur ou carbonate de chaux, dans une proportion plus ou moins forte, mais surtout à la présence de la silice et de l'alumine, à l'état d'argile; ces corps y entrent pour dix à seize parties pour cent, dans les deux premières espèces et quelquefois pour 36 pour cent dans la dernière espèce.

Chaux grasse.

La chaux très-grasse, au contraire, ne contient que du carbonate pur, de l'acide carbonique et de l'eau; et la chaux maigre, non hydraulique, renferme une quantité considérable de magnésie et de sable.

ANALYSES DES CHAUX.

Les analyses chimiques qui ont été faites des pierres à chaux,

pour reconnaître les parties constituantes de chaque espèce, ont donné les résultats suivants :

1° *Chaux grasses ordinaires.*

Elles contiennent :

Carbonate de chaux ou calcaire pur . . .	92 à 100	parties
Alumine et silice à l'état d'argile . . .	0.75 à 4.67	—
Carbonate de magnésie	1.80 à 2.91	—

2° *Chaux ordinaires maigres.*

Elles contiennent :

Carbonate de chaux ou calcaire pur. .	60.00 à 75.00	parties
Alumine et silice à l'état d'argile . .	2.00 à 2.55	—
Carbonate de magnésie	20.00 à 26.00	—

Outre le carbonate de magnésie, quelques-unes de ces dernières chaux contiennent de l'oxide de fer. D'autres ne renferment ni carbonate de magnésie, ni oxide de fer, mais seulement de l'alumine et de la silice à l'état d'argile jusqu'à 25 parties et de la silice à l'état de sable.

3° *Chaux moyennement hydrauliques.*

Elles contiennent :

Carbonate de chaux ou calcaire pur .	75.00 à 90.00	parties
Alumine et silice à l'état d'argile . .	3 à 16	—
Carbonate de magnésie	1 à 17	—
Oxide de fer	1.10 à 1.15	—

4° *Chaux hydrauliques.*

Elles contiennent :

Carbonate de chaux ou calcaire pur. .	75.00	à	85.00	parties
Alumine et silice à l'état d'argile . .	12.00	à	17.00	—
Carbonate de magnésie	4.00	à	9.00	—
Oxide de fer	0.40	à	1.70	—

5° *Chaux éminemment hydrauliques.*

Elles contiennent :

Carbonate de chaux ou calcaire pur .	54.00	à	70.00	parties
Alumine et silice à l'état d'argile . .	24.00	à	31.00	—
Carbonate de magnésie	1.00	à	2.00	—
Oxide de fer.	5.00	à	15.	—

D'après les analyses qui précèdent, on voit que les chaux grasses contiennent de la silice et de l'alumine en petite quantité, tandis que, dans les chaux hydrauliques, cette quantité varie de 1/9 à 1/2 du volume du carbonate de chaux ou calcaire pur.

On en a conclu que c'est à la présence de ces matières que les chaux hydrauliques doivent leur qualité, et l'on a formé des *chaux hydrauliques factices* en mélangeant du carbonate de chaux pur avec de l'argile contenant de la silice et de l'alumine.

CHAUX HYDRAULIQUES ARTIFICIELLES.

Les chaux hydrauliques artificielles sont formées d'un mélange de chaux très-grasse avec de l'argile, dans une proportion de 85 à 80 parties de chaux et de 15 à 20 parties d'argile.

(Dans chaque localité où l'on devra opérer, il conviendra

de faire des expériences pour déterminer le dosage convenable).

Il y a deux méthodes de fabrication de chaux hydrauliques artificielles; l'une est appelée de ***double cuisson*** et l'autre de ***simple cissoun.***

Les chaux de double cuisson sont les meilleures, mais aussi les plus coûteuses. On les obtient en mélangeant de la chaux grasse en pâte avec de l'argile ; et l'on fait, du tout, des briquettes que l'on fait sécher à l'air et que l'on fait cuire.

Pour faire des chaux de simple cuisson, on prend du calcaire très-tendre ou de la craie, par exemple; on la broie en poudre, de manière qu'elle forme pâte avec de l'eau; puis on mélange cette pâte avec de l'argile, comme pour de la chaux de double cuisson, et l'on fait cuire.

Cette méthode procure de l'économie lorsque les frais de broiement ne sont pas aussi grands que ceux de la cuisson de la pierre ; mais le mélange est moins intime que suivant le premier procédé, et les produits sont d'une qualité inférieure.

Ces procédés de fabrication de chaux artificielles sont dus à M. Vicat, Ingénieur des ponts-et-chaussées.

EXTINCTION DE LA CHAUX.

Il y a deux méthodes d'extinction : l'***extinction en pâte*** et l'***extinction en poudre.***

Les chaux grasses sont ordinairement éteintes en pâte, et les chaux hydrauliques devraient être éteintes en poudre.

Mais avant d'adopter l'un ou l'autre mode, il faut faire des expériences pour reconnaître celui qui donne de meilleurs mortiers.

Extinction en pâte.

Le procédé ordinaire pour éteindre les chaux en pâte consiste à jeter la chaux vive dans un bassin étanche, et à la couvrir d'eau en même temps qu'on la brasse avec des instruments appelés *pilons* ou *rabots*, armés de longs manches, afin de faire pénétrer l'eau dans toute la masse pour la délayer.

Lorsque toute la masse est convertie en pâte, on la laisse se refroidir avant de l'employer.

Pour la conserver, on la recouvre d'une légère couche de sable, afin de la préserver du contact de l'air et de lui conserver toute sa propriété.

Le volume d'eau nécessaire pour cette extinction varie entre le double et le quintuple de celui de la chaux vive. Il dépend du temps qui s'est écoulé depuis la cuisson et encore de la pureté de l'eau. Celle qui contient des substances en dissolution, comme l'eau des mares, de certains puits, convient moins que les eaux courantes.

Il faut faire des expériences sur chaque chaux afin de savoir la quantité d'eau qui lui convient.

On *brûle la chaux* quand on ne lui donne pas la quantité d'eau qui lui est nécessaire, et on la *noie* si l'on dépasse cette quantité.

On appelle *biscuits* les morceaux qui n'ont pas fusé parce qu'ils avaient commencé à entrer en fusion, ou qu'ils avaient reçu un coup de feu, comme on dit ; et l'on nomme *pigeons* ou *incuits* les morceaux qui ne sont pas assez cuits pour se convertir en chaux.

Lors de la fabrication des mortiers, on doit rejeter avec soin les biscuits et les pigeons, parce que, s'ils venaient à fuser dans les maçonneries, ils y occasionneraient des déplacements de matériaux et causeraient des boursoufflures.

On doit conserver les biscuits pour les réduire en poudre en les broyant : ils donnent généralement de bons mortiers.

Les chaux non hydrauliques éteintes en pâte rendent de un à deux et même trois volumes de pâte pour un volume de pierre, et les chaux maigres non hydrauliques ne donnent pas plus de un à un et demi de leur volume primitif.

Les chaux non hydrauliques qui produisent le volume le plus considérable de pâte sont les plus avantageuses.

Le rendement le plus ordinaire est de deux pour un.

Extinction en poudre.

L'extinction en poudre s'obtient de quatre manières différentes : 1° Par immersion ; 2° par aspersion ; 3° par fusion spontanée ; 4° par des machines.

1° *Par immersion.*

Cette méthode consiste à plonger dans l'eau, pendant quelques secondes, tous les morceaux de chaux, et à les mettre aussitôt en tas. Ils s'échauffent et tombent en poudre.

Les chaux grasses éteintes ainsi ne rendent que 1.50 à 1.66 de leur volume de pierre.

2° *Par aspersion.*

Pour éteindre de la chaux par aspersion, on étend en couche de dix à douze centimètres d'épaisseur la chaux qu'on veut éteindre, en la réduisant, avec une massette à casser de la pierre, en fragments de cinq à six centimètres de diamètre, comme les

pierres cassées qu'on emploie à l'entretien des routes. On répand, sur cette couche, de l'eau avec un arrosoir, partout également. On retourne ces morceaux de chaux avec une pelle pour communiquer l'humidité à toute la surface de chaque fragment, et l'on réunit le tout en tas côniques, en ayant bien soin de damer tou l'extérieur avec le dos de la pelle, afin de concentrer dans l'intérieur toute la chaleur qui se développe.

Au bout de 12 heures la chaux est réduite en poudre et refroidie.

On peut, pour éviter la déperdition de la chaleur et hâter la fusion, recouvrir les tas d'une légère couche de sable ou avec des paillassons.

On reconnaît que la chaux a été bien éteinte si, en faisant entrer un bâton dans les tas, il s'échappe par les trous une poussière blanche, et si le bâton ne ramène pas d'humidité.

S'il ne s'échappe pas de poussière, c'est une preuve qu'on a employé trop d'eau.

Pendant la fusion, les tas acquièrent du volume et il se fait des cheminées par lesquelles la chaleur s'échappe de la masse. Il faut les fermer en damant l'extérieur avec le dos d'une pelle pour empêcher les fuites de la chaleur.

On devra aussi rejeter tous les morceaux qui n'auraient pas fusé.

Si la chaux éteinte de cette façon était destinée à des enduits, il faudrait la tamiser afin de séparer les morceaux qui pourraient fuser ultérieurement.

3° *Par fusion spontanée.*

La fusion spontanée est celle qui se fait par l'humidité de l'air. — Dans ce procédé, l'action se communique de la surface

au centre, tandis que, dans les procédés qui précèdent, elle marche du centre à la surface.

Pour rendre plus prompte la fusion spontanée, on réduit la chaux en poudre en l'écrasant avec un rouleau ou un manége. Alors elle ne prend que l'humidité qui lui convient.

4° *Par des machines.*

On moud la chaux comme en moud le plâtre, et l'on tamise.

Comme la chaux éteinte en poudre est vendue au poids, il importe à l'acheteur qu'elle ne contienne que la quantité d'eau indispensable.

La chaux éteinte en poudre se conserve dans des sacs ; le transport en est plus facile et ne présente pas les mêmes inconvénients que celui de la chaux vive, qui peut mettre le feu à l'équipage, si elle vient à être mouillée pendant le transport.

II. MORTIERS.

Les chaux sont rarement employées seules, parce qu'elles ne rendraient pas plus de service que lorsqu'elles sont mélangées, dans une proportion convenable, avec d'autres substances, et qu'il en résulterait, conséquemment des dépenses inutiles.

On les mélange donc avec d'autres matières destinées à en augmenter le volume et en même temps à en diminuer le retrait.

Ces mélanges prennent le nom de *mortiers*.

Les matières qui concourent à former les mortiers, sont :

1° Les sables proprement dits ;

2° Les arènes ;

3° Les psammites ;

4° Les argiles ;

5° Les produits volcaniques;

6° Les produits artificiels résultant de la calcination des argiles, des arènes, des psammites et les crasses et scories des usines, des forges et des verreries, les cendres de houille.

Les chaux hydrauliques fournissent toujours des *mortiers hydrauliques*, avec quelque matière qu'on les mélange; et les chaux grasses donnent des *mortiers gras* et des *mortiers hydrauliques*, selon la substance à laquelle on les incorpore.

Lorsque les chaux grasses sont mélangées avec les sables proprement dits, qui sont des matières inertes et inattaquables par les acides, elles donnent constamment des mortiers gras; tandis qu'elles donnent un mortier hydraulique lorsqu'elles sont jointes à des matières qui se dissolvent dans les acides, telles que les arènes, les psammites, les argiles, les silicates de potasse.

Le constructeur a donc à sa disposition des *mortiers hydrauliques naturels* et des *mortiers hydrauliques* artificiels.

Les arènes, les psammites et les produits volcaniques ou pouzzolanes peuvent être employés à leur état naturel, mais les argiles ont besoin de la calcination pour devenir propres à composer des mortiers hydrauliques.

Les arènes sont des sables vierges mélangés de parties terreuses et argileuses, qui leur donnent la propriété de former, avec la chaux grasse, un mélange qui durcit sous l'eau. — Tous les sables mélangés d'argile n'ont pas cette propriété.

Les psammites ou grès argileux, formés par la réunion de grains de quartz, de schiste, de feldspath et de parcelles de mica, réunis par un ciment argileux ou ferrugineux, donnent aussi un mortier hydraulique.

Les produits volcaniques, connus sous le nom de *pouzzolanes*, qui sont des matières composées essentiellement de silice et d'alumine combinées avec un peu de chaux, de potasse, de soude,

de magnésie et de fer, donnent de bons mortiers hydrauliques par leur emploi avec des chaux grasses.

Toutes ces matières doivent être pulvérisées pour être employées.

Elles donnent des mortiers peu hydrauliques lorsqu'elles sont employées à leur état naturel et elles sont plus énergiques lorsqu'elles ont été soumises à la calcination. C'est ce qui résulte des expériences de M. Gérard, ingénieur des ponts-et-chaussées, sur les arènes; de celles de M. Avril, ingénieur des ponts-et-chaussées, au canal de Nantes à Brest, faites sur des psammites; et de celles de M. Vicat sur les pouzzolanes.

L'analyse chimique ayant fait reconnaître les parties constitutives des matières hydraulisantes naturelles, on a aussi composé artificiellement une matière jouissant de la même propriété. Cette matière a reçu le nom générique de *pouzzolane*.

Les arènes, les argiles, les psammites fournissent, par la calcination, des pouzzolanes artificielles.

III. POUZZOLANES FACTICES.

Les pouzzolanes naturelles étant composées de silice et d'alumine combinées avec un peu de chaux, on a pris séparément ces substances; on les a mélangées dans la proportion indiquée par l'analyse, et on en a fait des briquettes, ou petits pains, qu'on a fait cuire, lesquels, étant réduits en poudre, ont donné des pouzzolanes jouissant de la même propriété que celles qu'on trouve en carrières.

DIVISION DES POUZZOLANES.

Les pouzzolanes se divisent, comme les chaux hydrauliques,

en trois classes, suivant le temps que mettent à faire prise dans l'eau les mortiers où elles entrent avec les chaux grasses.

1° *Pouzzolanes très-énergiques*

Communiquant au mortier immergé la propriété :

1° De faire corps du 1er au 3e jour ;

2° D'acquérir, après un an, la dureté de la brique ;

3° De donner sous la scie une poussière sèche.

2° *Pouzzolanes énergiques*

Communiquant au mortier immergé la propriété :

1° De faire corps du 4e au 8e jour ;

2° D'acquérir, après un an, la dureté de la pierre tendre ;

3° De donner, sous la scie, une poussière humide.

3° *Pouzzolanes peu énergiques*

Communiquant au mortier immergé la propriété ·

1° De faire corps du 10e au 20e jour ;

2° D'aquérir, après un an, la dureté du savon ;

3° D'empâter la scie.

Les pouzzolanes sont inertes quand elles ne changent rien à la manière dont se comportent les mortiers immergés.

Manière de faire la pouzzolane.

La manière de faire la pouzzolane est bien simple ; elle consiste à faire des briquettes dans lesquelles l'argile entre pour 7/10e,

3/4, 8/10^e et même 9/10^e, et la chaux grasse pour 3/10^e, 1/4, 2/10^e et même 1/10^e.

Lorsque les briquettes sont sèches, on les fait cuire. On les réduit ensuite en poudre que l'on tamise.

On doit tenir cette poudre dans des endroits bien secs, dans des futailles, et à l'abri du contact de l'air.

IV. CIMENT DE BRIQUES ET DE TUILEAUX.

Les briques et les tuiles réduites en poudre donnent une pouzzolane artificielle connue sous le nom de *ciment*.

Lorsque la tuile ou la brique a reçu un coup de feu, c'est-à-dire quand la calcination a été poussée trop loin et qu'il y a eu un commencement de vitrification, le ciment qui en provient a perdu sa propriété de faire durcir la chaux grasse dans les lieux humides; ce n'est plus alors qu'une matière inerte qui n'a pas plus de valeur que le sable proprement dit. — Les débris de poterie sont impropres aussi à faire du ciment.

Division des mortiers.

Quand on compose des mortiers, on se propose toujours de leur donner la plus grande dureté possible, en même temps que la propriété de se conserver intacts dans les lieux où ils sont placés.

Il faut donc savoir distinguer ceux qui ne peuvent être employés que dans des endroits humides, de ceux qui ne résistent bien qu'aux intempéries de l'atmosphère.

M. Vicat distingue les mortiers qui sont destinés à être constamment exposés à l'humidité de ceux qui sont exposés constamment aux intempéries de l'atmosphère.

Les *mortiers* qui sont *destinés à être exposés à l'humidité* doivent être composés comme il suit :

1° Avec les chaux grasses, on emploie les pouzzolanes naturelles ou artificielles très-énergiques ;

2° Avec les chaux moyennement hydrauliques, on mélange les pouzzolanes naturelles ou artificielles simplement énergiques ; les arènes, les psammites énergiques, ou bien les pouzzolanes très-énergiques coupées de moitié de sable ; les arènes ou les psammites peu énergiques.

4. Avec les chaux éminemment hydrauliques, on mélange les matières inertes, telles que les sables, les laitiers, etc.

Les *mortiers* qui doivent être *constamment exposés aux intempéries de l'atmosphère* seront composés comme il suit :

1° Avec les chaux hydrauliques, on mélange les sables purs, les poussières quartzeuses ou calcaires ;

2° Avec les chaux éminemment hydrauliques, on mélange de même les sables purs, les poussières quartzeuses ou calcaires.

Observation. — Les chaux grasses et moyennement hydrauliques ne peuvent donner de bons résultats avec aucune substance.

DOSAGES.

Pour obtenir de bons mortiers il faut faire un dosage convenable des matières qui les composent. Lorsque la chaux y est en trop grande quantité, les ouvriers disent que le *mortier est gras*, et quand elle y est en trop petite quantité, ils disent qu'il est *maigre*.

C'est pourquoi les dosages ne doivent pas être faits à l'œil, ni la confection des mortiers abandonnée entièrement à la direction de simples manœuvres, si l'on veut pouvoir répondre de la bonté des mortiers et conséquemment de celle des travaux.

La quantité de matière à incorporer à la chaux varie suivant le mode d'extinction et la qualité de la chaux.

Les dosages sont généralement fixés comme il suit :

1° *Pour tous les mortiers ordinaires exposés à l'air.*

1° Avec une partie de chaux grasse éteinte en pâte molle, par le procédé ordinaire, on met depuis 2 jusqu'à 2 1/2 parties de sable et même 3, si le sable est argileux ;

2° Avec une partie de chaux en pâte ferme, éteinte par immersion, il entre 1 1/4 à 2 parties de sable ;

3° Avec une partie de chaux en poudre, il entre 1 1/2 à 1 3/4 de sable.

2° *Mortiers hydrauliques immergés.*

Les dosages des chaux hydrauliques doivent être étudiés par des expériences ; ils varient suivant la matière à incorporer et la causticité de la chaux.

Dans un mélange de pouzzolane quelconque et de chaux grasse, il vaut mieux faire un mortier maigre qu'un mortier gras ; et dans un mélange de chaux hydraulique ou éminemment hydraulique et de sables quartzeux ou calcaires, il est préférable d'avoir un mortier gras plutôt qu'un mortier maigre.

V. MORTIERS COMPOSÉS DE CENDRES DE HOUILLE.

Nous voici arrivés aux mortiers composés avec les cendres de houille, les crasses et scories des usines, des forges, des verreries, etc., dont il n'avait jamais été question que pour mémoire

avant les expériences faites par M. François Coignet, tant à Lyon qu'à Saint-Denis, près de Paris.

M. Coignet, frappé du peu de solidité des constructions en terres moulées ou comprimées, appelées *pisé*, eut l'idée, comme il le dit dans une petite brochure qu'il a publiée en 1855 sur cet objet, de rechercher les moyens de remplacer la terre par quelques matériaux, tout aussi économiques que le pisé, mais n'ayant pas, comme lui, l'inconvénient de fondre à l'humidité et pouvant résister aux inondations, à la pluie et aux intempéries des saisons.

Guidé par l'observation plutôt que servi par le hasard, sans doute, il composa un mortier de chaux grasse et de cendres de houille, provenant de son usine, il en fit un béton par lequel il remplaça le pisé ordinaire; il obtint immédiatement, annonçait-il, les résultats les plus satisfaisants, aussi bien sous le rapport de l'économie que sous celui de la solidité.

Nous devons examiner ce nouveau mortier et chercher comment il se fait que la cendre de houille ait suffi pour convertir la chaux ordinaire en chaux hydraulique.

Dans ce qui précède, nous avons vu que la présence de l'alumine, de la silice, de la magnésie et des oxides de fer, est nécessaire pour donner au calcaire pur la propriété de durcir sous l'eau, et que les terres ou matières naturelles qui contiennent ces éléments acquièrent une plus grande énergie lorsqu'elles sont soumises à la calcination.

Les cendres, résidu solide de la combustion libre des matières des trois règnes de la nature, *sont* donc *éminemment propres à convertir les chaux grasses en chaux hydrauliques,* puisqu'elles sont composées, généralement, de silice, d'alumine, de chaux, de magnésie, de sous-carbonates de potasse et de soude, d'oxides de fer et de magnésie.

La présence de ces éléments dans les cendres de houille

explique la grande dureté acquise si promptement par la chaux grasse, et pourquoi le *béton-pisé*, dont M. Coignet a fait usage, a atteint la solidité désirable.

Le problème des constructions à bon marché serait résolu par l'expérience de M. Coignet, si les cendres de houille se trouvaient naturellement partout. Mais comme c'est un produit toujours très-restreint et qu'il n'en existe que dans les localités où il se fait une grande consommation de houille, on ne peut pas se procurer une quantité de mortier aussi considérable qu'on pourrait le désirer, ni surtout en avoir économiquement dans les lieux qui n'ont pas de fabriques.

La difficulté de se procurer des cendres de houille sera donc toujours un empêchement à l'extension de ce nouveau moyen de construire.

Le bon marché, dans les constructions, ne peut être obtenu qu'en employant des matières abondamment répandues dans la nature, que l'on n'ait jamais la crainte d'épuiser, quelle qu'en soit la consommation.

Et la solidité exige que les matières soient propres à former, avec les chaux grasses, un mélange susceptible d'acquérir une grande dureté.

La chaux grasse, le moellon et l'argile sont les matières qui peuvent répondre aux deux résultats cherchés.

C'est à ces matières que M. Coignet a demandé la solution du problème qu'il étudie et qu'il s'est posé sur une grande échelle, dans la construction qu'il a faite d'une usine et d'une maison d'habitation à Saint-Denis, près de Paris.

A trois parties de terre argileuse commune, grasse et non cuite, il a mêlé une partie de chaux vive réduite en poudre, pour composer le béton qu'il a employé dans ses constructions et il a obtenu un plein succès.

La réussite est encore plus certaine si l'on fait cuire la terre

argileuse et si on la réduit en poudre pour l'incorporer à la chaux, et si l'on ajoute de la cendre de houille.

En publiant ses expériences et en faisant connaître le résultat qu'il a obtenu, M. Coignet a rendu un grand service aux gens qui ont peu d'argent à dépenser en constructions. Il leur a enseigné qu'on peut construire économiquement partout où l'on a à sa disposition de la chaux grasse, de l'argile et des pierrailles, et il a mis en évidence un nouveau mode d'employer la chaux; car nous avons remarqué qu'elle a été employée vive et réduite en poudre et que toutes les matières ont été brassées ensemble, avec la quantité d'eau seulement nécessaire pour communiquer aux substances pulvérulentes l'humidité propre à en faciliter l'adhérence aux matériaux formant le béton.

De cette façon la chaux ne perd rien de ses propriétés, tandis que, lorsqu'on la convertit en pâte, elle en perd une grande partie, surtout si la pâte est trop liquide.

Dans de grands travaux auxquels nous avons concouru nous-même, nous n'employions que des chaux éteintes en poudre, par aspersion, et nous avons reconnu que nos mortiers avaient une qualité supérieure à ceux qui étaient faits avec des chaux en pâte et surtout qu'ils nous coûtaient moins cher, qu'ils étaient plus faciles à faire et mieux faits.

Déjà, à l'époque dont nous parlons, quelques entrepreneurs éteignaient la chaux en poudre pour la conserver et ils s'en trouvaient bien.

Actuellement, dans le midi de la France, on vend la chaux hydraulique en poudre et tamisée.

Cette dernière condition est imposée par quelques chemins de fer; elle pourrait n'être pas de rigueur pour les mortiers qui entrent dans les massifs, mais elle est indispensable pour ceux qui sont destinés aux enduits, afin d'éviter les boursouflures causées par les morceaux qui viennent à fuser après l'emploi.

La chaux devrait donc être convertie en poudre et gâchée, à l'instar du plâtre et du ciment romain, dans des proportions convenables avec les matières à y incorporer.

On obtiendrait des mortiers d'une qualité meilleure et durcissant plus promptement.

Aux matières calcinées, destinées à convertir les chaux grasses en chaux hydrauliques, nous devrons ajouter, à l'avenir, les cendres de houille et même les cendres ordinaires.

On ne devra donc plus jeter à la rue les cendres de houille, mais les conserver aussi soigneusement que le ciment de tuileaux.

Les cendres de houille mêlées à de la chaux hydraulique en poudre forment un ciment romain de bonne qualité.

CIMENT DE MACHEFER.

Dans quelques localités de la Normandie on réduit le machefer en poudre; on le mélange avec de la chaux grasse et l'on fait un mortier excellent pour les rejointoiements et les enduits.

6. MORTIER DE CHAUX GRASSE ET DE SILICATE DE POTASSE.

Nous avons vu précédemment que la chaux grasse ne peut être convertie en chaux hydraulique que lorsqu'on y incorpore des substances qui se transforment sous l'action de la causticité de la chaux, et que les ciments de briques et de tuileaux cessent d'être propres à faire des mortiers hydrauliques aussitôt qu'il y a eu un commencement de fusion.

Nous pouvons tirer cette conséquence : qu'on doit conserver, le plus possible à l'état naturel, la silice contenue dans l'argile, et éteindre la chaux de la manière qui lui conservera le mieux toute sa causticité.

C'est ce qui est confirmé par le mortier de chaux grasse et de silicate de potasse, lequel se fait par le mélange de 10 parties en poids de chaux grasse en poudre avec 10 à 12 parties de silicate de potasse, aussi en poids.

Le silicate de potasse est une matière naturelle abondamment répandue dans la nature et dont on peut trouver des mines comme on en trouve de sable.

Il faudra les rechercher et faire des expériences sur la propriété hydraulisante de cette matière.

ANALYSE

Du mémoire de M. Carvallo,

Ingénieur des ponts et chaussées,

Sur l'injecteur Giffard

PAR

MM. BRÜLL ET ERMEL.

Dans la séance du 27 avril nous avons été chargés d'analyser l'essai sur la théorie de l'inspecteur Giffard, présenté le 16 mars à la Société par M. Carvallo, Ingénieur des ponts-et-chaussées. Nous venons aujourd'hui vous rendre compte de cette étude.

Dans l'introduction qui précède son travail, M. Carvallo nous apprend qu'il a été amené à l'entreprendre par la communication d'une recherche sur l'injecteur, dont les résultats ne lui paraissaient pas satisfaisants.

M. Carvallo indique que, dans un récent voyage qu'il a fait aux usines d'Oullins, un Ingénieur de mérite, attaché au matériel d'un réseau français, lui parla d'une recherche qu'il avait entreprise sur la théorie de l'injecteur Giffard, pour compléter les explications sommaires publiées dans les *Annales des Mines* par M. l'inspecteur général Combes; il lui lut une note assez détaillée qui donna lieu à diverses observations à la suite desquelles M. Carvallo formula, en langage algébrique, les principales conditions théoriques de

l'ingénieux appareil qui a fixé avec raison l'attention des mécaniciens.

Les expériences faites par l'auteur de cette note ayant confirmé les prévisions de M. Carvallo, il l'a engagé à faire connaître le résultat de l'étude qu'il avait provoquée.

Cette recherche, qui a été le point de départ de celle qui nous occupe, est le mémoire présenté à la Société à la séance du 21 octobre 1859, par l'un de nos collègues, M. Bonnet, Ingénieur aux chemins de fer de l'Est. Ce mémoire avait été retiré par son auteur, à la suite de sa conversation avec M. Carvallo et de l'insuccès des expériences faites pour vérifier l'exactitude de la théorie contestée.

M. Bonnet avait eu l'obligeance de nous communiquer ce mémoire. Il nous avait semblé renfermer des vues très-nettes sur les phénomènes qui se passent dans le fonctionnement de l'injecteur. L'étude de l'appareil, approximative seulement, nous avait paru à l'abri de tout reproche d'erreur.

D'un autre côté, ayant eu occasion, comme nous le dirons plus loin, de recommencer l'expérience faite par M. Bonnet, nous avons obtenu un résultat plus satisfaisant, qui vérifie sa théorie.

Nous avons pensé, d'après cela, qu'il ne serait pas sans intérêt pour vous d'examiner le travail de notre collègue en même temps que l'étude plus approfondie de M. Carvallo. Nous avons écrit dans ce sens à M. Bonnet, qui nous a autorisé à vous présenter de nouveau son mémoire.

Ce mémoire a été entrepris alors que le seul travail publié sur l'injecteur était la notice de M. Bougère; M. Bonnet, peu satisfait des idées énoncées dans cette notice, a cherché à donner une explication moins vague des phénomènes. Il avait divisé son étude en deux parties.

1° La formation de la veine liquide;

2° Son introduction dans la chaudière.

La note publiée par M. Combes, qui parvint à M. Bonnet alors qu'il s'occupait de la question de l'injecteur, renfermait sur la première partie toutes les explications désirables; il ne crut donc pas devoir revenir inutilement sur un sujet suffisamment élucidé, et ne s'occupa que de l'examen de la seconde partie du phénomène.

Après avoir donné la description de l'appareil, M. Bonnet passe à l'étude de l'introduction de la veine dans la chaudière à travers l'ajustage divergent.

Il s'appuie pour cela sur le théorème de Daniel Bernouilli, sur le mouvement permanent des liquides dans les tuyaux, dans le cas où les frottements pourraient être négligés. Ce théorème est établi et discuté complétement dans le mémoire.

Passons donc sous silence toute la portion du mémoire consacrée au théorème de Bernouilli; il nous suffira de rappeler l'énoncé de ce théorème pour le cas du mouvement permanent d'un liquide dont on néglige le poids et les frottements.

« Dans une section quelconque du tuyau, la hauteur de liquide « due à la vitesse et la hauteur représentant la pression donnent « une somme constante. »

Pour appliquer ce théorème au cas de l'injecteur, M. Bonnet admet que la section minima de l'ajutage divergent coïncide avec la section contractée du jet liquide sortant du cône directeur, et que, par suite, la pression dans cette section est égale à celle de l'atmosphère. Il admet, en négligeant les résistances accessoires qu'éprouve l'entrée du liquide depuis le grand diamètre de l'ajutage divergent jusqu'à son arrivée dans la chaudière même, que la pression dans ce grand diamètre est égale à celle de la chaudière. Il admet encore, après avoir discuté le degré de probabilité de cette hypothèse, que le jet est entièrement liquide. Il rappelle enfin que les frottements dans l'ajutage sont entièrement négligés.

Cela posé, l'équation du théorème de Bernouilli, appliquée à

l'écoulement entre la section minima et la section maxima du cône divergent, est la suivante :

$$\frac{V^2}{2g} + 10,33 = \frac{V^2}{2gK^2} + N \times 10,33.$$

En appelant :

V la vitesse de la veine dans la section étroite de l'ajutage divergent,

K le rapport de la grande section à la petite,

N le nombre d'atmosphères dans la chaudière,

10,33 est la hauteur d'eau correspondante à 1 atmosphère,

Et g l'intensité de la pesanteur.

Cette équation conduit pour un appareil de locomotive, expérimenté par M. Bonnet, à la valeur :

$$V = 35^m,22.$$

Ainsi, dit alors l'auteur;

« Au moment où la veine pénètre dans le tube, c'est-à-dire dans la chaudière, sa vitesse est de $35^m,22$ et sa pression intérieure égale à la pression atmosphérique; à peine a-t-elle dépassé la petite section que la vitesse commence à se ralentir puisque la section augmente. De proche en proche, la vitesse initiale $35^m,22$ s'amortit en même temps que la pression s'accroît, jusqu'au grand diamètre du tube divergent où la pression est devenue celle de la chaudière, et où la vitesse $\frac{35^m,22}{7,37}$ ne présente plus qu'une charge insignifiante de $1^m,16$ d'eau qui se perd en bouillonnements. »

Nous avons dit que ces calculs supposaient la veine entièrement liquide. L'auteur ne pense pas qu'elle le soit réellement. Dans des expériences directes, il a trouvé, en effet, que l'appareil auquel s'appliquent ces calculs débitait 1 litre et demi par seconde, ce qui, dans l'hypothèse de la condensation parfaite, correspondrait, d'après la mesure de la section étroite de l'ajutage divergent, à

une vitesse de 25^m dans cette section, tandis que, d'après ce qui précède, la vitesse doit être d'au moins 35^m, pour que l'introduction ait lieu.

M. Bonnet observe que l'introduction de la non liquidité de la veine ne changerait rien aux effets de l'appareil ; mais il suppose, pour établir ce point, et cette hypothèse est indiquée, que la condensation, incomplète à l'entrée de l'ajutage, ne se continue pas dans son intérieur. Il est probable qu'il n'en est pas ainsi, à cause de l'augmentation successive de la pression à mesure que le fluide avance dans l'ajutage, de sorte que les résultats seraient modifiés assez notablement.

Le moyen proposé par l'auteur pour connaître approximativement la composition du mélange d'eau et de vapeur nous paraît inexact à cause de cette même hypothèse peu probable.

M. Bonnet termine en réfutant très-heureusement les opinions émises par M. Bougère, consistant principalement à comparer le jeu de l'injecteur au fonctionnement d'une arme à feu ou d'une sarbacane, à faire de l'ajutage divergent un accessoire insignifiant de l'appareil, et à considérer au contraire le petit évasement qui le précède comme un organe indispensable au jeu de l'injecteur.

Il paraît vraisemblable qu'au moment de la mise en train, la veine lancée par la vapeur, avec une vitesse supérieure à celle d'un jet d'eau qui, d'autre part, sortirait du tube divergent, exerçant par conséquent contre celui-ci une pression supérieure, agit comme le piston d'une presse hydraulique pour produire, dans le liquide contenu dans l'espace compris entre le petit diamètre et le dessous de la soupape, une pression supérieure à celle de la chaudière, suffisante pour soulever la soupape. Durant toute cette période, et jusqu'à ce que les hésitations de la soupape à se soulever soient vaincues et le régime permanent établi, on peut dire qu'il y a un véritable choc de la veine qui agit, à ce moment,

par sa vitesse acquise et son inertie, comme un projectile. Elle se brise sans entrer et se dégorge par le purgeur. Mais tout change dès que les fluides commencent à se mettre en mouvement et que le régime permanent s'est établi. Il se produit alors, depuis la contraction de la veine jusqu'à l'entrée dans la chaudière, un simple phénomène d'écoulement de liquide dans un canal qui doit en suivre les lois, comme nous avons essayé de le démontrer. Au surplus, il ne s'agit pas d'expliquer le jeu de la mise en train, mais bien celui du régime permanent de l'injecteur en fonction, dans les formes et conditions établies par l'inventeur ; dire alors que le jet liquide est un projectile d'eau, et comparer les effets de la veine à ceux d'un projectile lancé par une arme à feu ou une sarbacane, c'est, selon nous, une proposition invraisemblable, une erreur, puisque les projectiles agissent par choc, et que le travail par choc donne lieu à des pertes énormes de puissance vive, absorbée en vibrations et en déformations dans les corps solides, en remous et en tourbillonnements dans les liquides.

Tels sont les points les plus importants du mémoire présenté par M. Bonnet; la manière dont il montre le jet liquide traversant le cône divergent, en perdant peu à peu sa vitesse pour la transformer pour ainsi dire en pression, nous a surtout semblé satisfaisante. Elle nous paraît indiquer très-nettement le rôle important de cet ajutage dans l'appareil de M. Giffard. Nous regrettons seulement que M. Bonnet n'ait pas étudié la question avec une plus grande approximation, en introduisant une mesure des travaux résistants que la force vive du jet liquide doit vaincre en dehors de celui de la pression même de la chaudière.

Cette étude délicate se trouve dans le très-intéressant travail de M. Carvallo.

Il suffit, pour faire comprendre l'étude approfondie que le savant ingénieur a faite des phénomènes de l'injecteur, de reproduire ici la liste des quantités qu'il se propose de mesurer.

Ce sont :

1° La section minima de l'ajutage divergent de façon à assurer d'une manière intermittente ou continue l'alimentation de la chaudière ;

2° La section de sortie de la vapeur, de manière à donner le maximum d'effet utile, c'est-à-dire à dépenser le moins possible de vapeur pour assurer l'alimentation ;

3° Le poids de la vapeur dépensée ;

4° Le poids de l'eau entraînée par cette vapeur ;

5° Un moyen expérimental excessivement exact de mesurer la vitesse de sortie de la vapeur ;

6° La quantité de vapeur qui peut rester mélangée à l'eau sans se condenser dans la veine fluide ;

7° Les limites inférieures de la température de cette veine fluide au commencement et à la fin de son trajet extérieur.

Le théorème appliqué par M. Carvallo, pour résoudre ces diverses questions, est le théorème des puissances vives. L'auteur suppose, pour appliquer ce théorème, que la vitesse du jet, égale à V′ lors de sa formation, passe brusquement à une valeur moindre W lorsque cette veine traverse la section étroite de l'ajutage divergent. Ce changement brusque de vitesse conduit à une perte de puissance vive égale à la masse multipliée par la moitié du carré de la différence des deux vitesses.

Alors la puissance vive initiale est égale à la puissance vive finale, plus cette perte de puissance vive, plus le travail résistant qui est celui que pourrait exercer l'eau qui tend virtuellement à sortir de la chaudière par la section étroite.

$$(M+m)\frac{V'^2}{2} = (M+m)\frac{W^2}{2} + \frac{(M+m)(V'-W)^2}{2}$$
$$+ \frac{K'\rho'S'\,v'^3}{2g}$$

M masse de l'eau aspirée en une seconde,
m masse de vapeur dépensée en une seconde,
V′ vitesse du mélange supposée constante entre l'orifice de sortie de la vapeur et la section minima de l'ajutage divergent,
W vitesse de la veine après son passage dans la section minima de l'ajutage,
K′ coefficient de contraction relatif à la sortie fictive de l'eau de la chaudière par la section minima,
ρ′ densité de l'eau de la chaudière,
S′ section étroite du cône divergent,
v′ vitesse virtuelle de sortie de l'eau de la chaudière.

Dans cette équation, M. Carvallo remplace les vitesses par leurs valeurs en fonction des dimensions de l'appareil et de la pression dans la chaudière. En supposant dans cette substitution que la veine soit entièrement liquide, la vitesse V′ du jet, lors de sa formation, est fournie par l'équation des quantités de mouvement posée par M. Combes

$$(M+m)\,V' = mV$$

dans laquelle V est la vitesse de sortie de la vapeur. Cette vitesse est calculée dans le mémoire, en supposant, d'après les expériences de Pecqueur, que la vapeur sort avec toute sa pression et toute sa densité sans se détendre aucunement.

Cette substitution conduit immédiatement à une relation simple entre le rapport ζ du poids de l'eau injectée à celui de la vapeur dépensée et le rapport E de la section de sortie de la vapeur à la section étroite du cône divergent, relation dans laquelle entrent seulement les densités ρ et ρ′ de la vapeur à sa sortie et de l'eau

de la chaudière, ainsi que les coefficients de contraction K et K' correspondant tant à l'écoulement de la vapeur par la tuyère qu'à l'écoulement virtuel de l'eau de la chaudière par l'ajutage divergent.

Différentiant cette équation et égalant à 0 la dérivée $\frac{d\,\zeta}{d\,E}$, on obtient la valeur de E qui rend ζ maximum, ainsi que la valeur maximum de ζ, c'est-à-dire que l'on détermine le rapport des sections correspondant au maximum de rendement de l'appareil, ainsi que ce rendement maximum.

On trouve ainsi par la valeur maximante de E : $E = \frac{3}{2}\frac{K'^{2/3}}{K}$,

et, en prenant pour les deux coefficients de contraction K et K' la valeur commune 0,94, on trouve :

$$E = 1,53.$$

La valeur réelle de ce rapport de section dans les appareils injecteurs varie de 1,69 à 1,96, ce qui est une vérification remarquable des calculs.

Quant à la valeur maxima du rapport ζ de l'eau injectée à la vapeur dépensée, on arrive à :

$$\zeta = \frac{2}{3}\frac{1}{k'^{\frac{1}{3}}}\left(\frac{\rho'}{\rho}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Mettant cette formule en chiffres on trouve le tableau ci-dessous

PRESSION	2 atm.	3	4	5	6	7	8
Nombre de kilog. injectés par kilog. de vapeur.	20,3	16,9	14,8	13,4	12,3	11,5	10,8

Ces chiffres sont voisins de ceux que fournisssent les expériences directes, ils sont un peu trop faibles.

Les valeurs ainsi trouvées pour le rapport E et pour le rapport ζ conduisent l'auteur du mémoire aux réflexions suivantes :

« Ainsi, le rapport $\frac{\rho}{\rho'}$ qui correspond au maximum d'effet utile, c'est-à-dire à la plus grande quantité d'eau introduite relativement à la vapeur dépensée, ce rapport est constant. C'est un nombre qui dépend seulement de la valeur numérique des coefficients de la dépense d'eau et de vapeur dans les ajutages côniques. C'est là un résultat assez imprévu, et qui néanmoins a sa raison d'être, quand on songe que l'injecteur automoteur constitue en réalité un circuit fermé qui va de la vapeur à l'eau.

« Le rapport $\frac{M+m}{m}$ lui-même varie en raison inverse de la racine carrée du poids du mètre cube de vapeur, c'est-à-dire qu'il diminue comme la racine carrée du nombre des atmosphères de pression dans la chaudière. En d'autres termes, l'alimentation des chaudières à moyenne pression sera faite dans de meilleures conditions d'effet utile que celle des chaudières à très-haute pression. »

La valeur maximante du rapport $\frac{\rho}{\rho'} = E$ et la valeur maxima du $\frac{M+m}{m} = \zeta$ étant connues, on comprend que l'on peut facilement en déduire toutes les quantités qui intéressent, en fonction de la section $S'\rho'$ de l'orifice du tube et de la pression de la chaudière.

M. Carvallo calcule ainsi le poids de vapeur dépensée, le débit total d'eau injectée, le diamètre de la section de l'ajutage nécessaire pour alimenter une chaudière donnée.

Les résultats numériques des formules ainsi obtenues sont assez

loin des valeurs données par l'expérience ; ainsi, on trouve une dépense de vapeur environ deux fois trop grande, un débit total trop grand d'environ un tiers, des diamètres d'ajutage trop petits dans la même proportion.

Relativement à la valeur qu'il convient de donner à cette section pour une alimentation déterminée, on lit dans le mémoire :

« Suivant qu'une machine devra marcher à une pression plus ou moins grande, l'injecteur devra spécialement être étudié pour la pression la plus fréquente, et nous pensons qu'il peut y avoir avantage à augmenter légèrement l'orifice $S'\rho'$ pour les très-hautes pressions dans le rapport plus haut indiqué et même dans un rapport plus élevé, parce que la quantité d'eau entraînée mécaniquement par la vapeur est d'autant plus grande que la pression est plus grande.

« Il est utile de remarquer, d'ailleurs, que l'injecteur est un très-bon et très-heureux appareil pour les pressions ordinaires, mais son effet utile va rapidement en diminuant pour de très-hautes pressions ; il pourrait se faire qu'il dévint insuffisant ou impossible en exigeant des orifices S' trop grands pour sa marche régulière, malgré même la permanence ou la continuité de l'alimentation ; l'expérience seule pourrait prononcer sur la limite que les orifices ne doivent pas atteindre.

« Ainsi, un injecteur qui marchera très-bien pour des pressions de 3, 4, 5 atmosphères rendra des services moins bons, sensiblement même, pour 8 atmosphères, il devra se déranger, perdre, marcher irrégulièrement.

« Cela tient à la diminution rapide du rapport ζ, à la petitesse relative de la section S', et aussi aux valeurs des vitesses, comme nous allons le voir.

« On trouve en effet :

$$V = \sqrt{2gh\rho'} \quad \sqrt{\frac{i-1}{\rho}} = 423,16 \sqrt{\frac{i-1}{\rho}}$$

$$V' = \frac{V}{\zeta} = 19,662 \sqrt{i-1}$$

$$W = \frac{3\,K}{2}\;\frac{V}{\zeta} = 13,934 \sqrt{i-1}\,.$$

« Ces valeurs font voir que la vitesse W d'injection croît avec la pression, proportionnellement à $\sqrt{i-1}$; par conséquent, le choc, le frottement, les changements brusques de vitesse sont plus sensibles. »

On lit plus loin :

« Le courant liquide s'établit à l'extrémité de l'injecteur, vers la chaudière. Il est dû nécessairement à une différence de pression qui va en décroissant très-lentement; en plaçant un manomètre aussi près que possible de l'extrémité de l'injecteur, il doit indiquer une pression supérieure à celle de la chaudière, malgré même la grandeur de la vitesse d'introduction. L'expérience vérifie cette conséquence. »

Quant au moyen expérimental de déterminer la vitesse de sortie de la vapeur, il consiste à introduire dans la relation que nous avons citée plus haut entre $E\zeta$ et K les valeurs mesurées directement de E et de ζ; on en déduira ainsi la valeur du coefficient de réduction K, et par suite de la vitesse réelle de sortie de la vapeur.

Ainsi se trouvent résolues les cinq premières questions posées au commencement du travail. L'auteur calcule la proportion de vapeur nécessairement condensée et la température du jet en faisant intervenir l'équivalent mécanique de la chaleur. L'incertitude qui enveloppe encore cette partie de la science nous engage à ne pas insister sur ce point.

M. Carvallo dit en terminant son mémoire :

« L'injecteur est, comme on le voit, un très-bon appareil; on peut l'établir en calculant ses dimensions pour la pression habituelle

de la marche des machines ; on le rendrait encore meilleur, si on pouvait loger le tube de l'injecteur dans un manchon athermane ou à la température de la chaudière, tout en laissant le clapet d'introduction facilement accessible au mécanicien.

« En soumettant cet essai à l'Académie, nous avons le désir qu'il puisse être de quelque utilité à l'ingénieur inventeur de cet appareil et qu'il l'engage à rechercher, soit les modifications à y apporter pour les très-hautes pressions, soit les limites expérimentales de son application.

« La suppression des pompes a le grand avantage de faire disparaître les poids mobiles, d'alléger la machine, de mettre l'alimentation à l'abri des chances d'accidents produits par la gelée, c'est enfin un acheminement vers la perfection de la machine à vapeur et la possibilité de l'employer à de nouveaux usages. »

Telles sont les principales idées du remarquable travail de M. Carvallo ; il nous serait difficile, avec la nature assez ardue du sujet, de leur donner plus de développement.

Après avoir fait une étude approfondie de ce mémoire nous avons cru trouver dans les principes qui en sont le point de départ quelques points sur lesquels il pouvait rester un peu d'incertitude, et nous avons demandé à son auteur quelques explications complémentaires.

Nous devons remercier ici M. Carvallo de la bienveillante obligeance avec laquelle il a accueilli nos remarques.

Ces observations portaient principalement sur deux points, tous deux très-importants pour l'établissement de l'équation principale du mémoire.

La première objection peut se formuler ainsi : Y a-t-il réellement à l'entrée, dans l'ajutage divergent, un changement brusque de vitesse (V', W) entraînant une perte de force vive correspondante ?

La seconde est la suivante : La vitesse d'émission de la vapeur

doit-elle être calculée en admettant, d'après les expériences de Pecqueur sur l'écoulement de l'air, que cette vapeur s'échappe sans se détendre ?

Après avoir eu plusieurs conférences avec M. Carvallo sur ces deux points délicats et sur les conséquences que pourrait entraîner dans la théorie une modification des deux hypothèses, il fut décidé que l'on pouvait vérifier les objections au moyen de quelques expériences convenablement disposées.

S'il y a en un point de l'appareil un changement brusque de vitesse, il doit correspondre à un changement brusque de pression au même point ; si la pression dans la section étroite de l'ajutage divergent est égale à celle de la chaudière suivant l'hypothèse du mémoire, comme elle est évidemment d'une atmosphère dans la partie du jet qui traverse l'air libre, il y a changement brusque de vitesse ; si au contraire la pression dans cette section étroite est d'une atmosphère pour croître progressivement tout le long du cône divergent, comme le pense M. Bonnet, ce changement brusque n'a pas lieu.

Mais il se présente ici une difficulté ; chacun comprend nettement ce que c'est que la pression en un point d'un liquide en repos ; elle est indiquée par un manomètre dont le tuyau débouche en ce point, quelle que soit d'ailleurs la direction de la section d'ouverture du tuyau. Dans un liquide en mouvement, les choses ne se passent plus aussi simplement : si l'on place l'ouverture du tuyau manométrique dans le sens du mouvement, le manomètre marquera plus que la pression ; cela est si vrai que si on place de cette façon un manomètre dans un jet parcourant librement l'atmosphère, l'instrument indiquera une pression, bien qu'évidemment il n'y ait dans la veine que la pression de l'atmosphère ; tel est le principe du tube de Pitot. Si l'on place l'ouverture du tuyau en sens inverse du mouvement, le manomètre marquera moins que la pression, la vitesse de la veine produira une sorte

de succion. L'injecteur lui-même nous en fournit une preuve, puisque c'est par un effet de ce genre que l'eau de la bâche s'élève dans le tube d'aspiration. Enfin, en plaçant l'ouverture du tuyau manométrique parallèlement aux filets liquides, on aura encore cet effet de succion, et, de plus, le moindre défaut de précision dans l'exécution pratique, ou la moindre déviation des filets liquides pourra faire participer la position du tuyau de l'une ou de l'autre dispositions extrêmes que nous venons de citer. Ces considérations, qui ont peu d'intérêt dans la plupart des expériences ordinaires d'hydraulique, prennent ici une grande importance à cause de la grande vitesse du liquide.

Ainsi il est arrivé, tant à cause de ces influences qu'à cause de la difficulté qu'il y avait à placer le manomètre assez près de la section étroite de l'ajutage divergent, que M. Bonnet, voulant vérifier par une expérience de ce genre l'application qu'il avait faite du théorème de Bernouilli, n'a obtenu que des résultats négatifs.

Voici ce que dit M. Bonnet à ce sujet :

« Je voulus vérifier l'augmentation progressive de la pression dans le cône divergent ; je fis monter un manomètre étalon sur un appareil dont le tube divergent avait 48 cent. de longueur, $0^m,095$ et $0^m,026$ pour le petit et le grand diamètre ; je branchai ce manomètre à environ $0^m,10$ du petit diamètre ; l'injecteur ayant marché à 4, 5, 6 et 7 atmosphères, le manomètre indiqua constamment une pression égale à celle qu'indiquait le manomètre de la machine, augmentée chaque fois d'environ $\frac{1}{8}$ d'atmosphère (quantité qui paraîtrait représenter une partie des résistances accessoires de l'introduction), tandis que d'après la formule de Bernouilli on aurait trouvé une pression de beaucoup inférieure à celle de la chaudière.

« Ce résultat négatif si contraire aux lois de l'hydraulique n'a pas ébranlé mes convictions ; je regarde comme certain que l'ex-

périence a été mal faite; et jusqu'à preuve contraire, j'ai cru devoir m'abstenir. »

Pour obtenir, malgré ces difficultés, une notion approximative sur la manière dont la pression varie dans l'ajutage divergent, nous avons disposé un tube très-fin, bouché à son extrémité et percé près de ce point de deux trous latéraux. Ce tube était soudé à un tube plus gros, qui pouvait glisser dans un presse-étoupes placé sur le bouchon qui ferme l'extrémité élargie du cône divergent. Ce second tube portait un manomètre.

Cette expérience ainsi que les suivantes, disposées de concert avec M. Carvallo, ont été faites dans les ateliers de M. Flaud, qui a bien voulu, avec un obligeant empressement, nous aider ainsi à mettre en lumière quelques points importants de la théorie de l'injecteur.

L'effet de succion dont il a été parlé se produisit dans cette expérience ; le manomètre indiqua, dans la partie du jet qui traverse l'air libre, une pression inférieure d'environ 0 atm., 6 à celle de l'atmosphère. Cette indication pouvait servir de mesure approximative à l'influence de la succion, et nous pûmes ainsi obtenir à peu près la valeur de la pression aux divers points du cône divergent. Elle a toujours été sensiblement égale à 1 atmosphère dans la section minima, et de plus en plus grande à mesure qu'on avançait dans l'ajutage. A l'extrémité de cet ajutage elle paraît légèrement supérieure à la pression de la chaudière.

Quant à la seconde observation, relative à la détente partielle que subirait la vapeur à sa sortie de la tuyère, elle a été étudiée en répétant avec M. Carvallo une expérience dont nous avons déjà eu l'honneur de vous entretenir et qui consiste à peser le poids d'eau aspirée et le poids d'eau injectée, à connaître ainsi par différence le poids de vapeur dépensée en un temps donné par une section connue. Deux essais de ce genre nous ont conduits, pour

des pressions de 5 atm., 6 et de 5 atm., 75 dans la chaudière, à des pressions à l'émission de 2 atm., 7 et 3 atm., 0.

D'après les résultats de ces expériences, il y avait lieu de rechercher les modifications que ces changements d'hypothèses introduisaient dans les formules et dans les résultats. M. Carvallo a bien voulu entreprendre ce nouveau travail et il nous en a transmis les résultats dans une lettre qui sert ainsi de complément à son premier mémoire. M. Carvallo nous ayant autorisé à donner communication de cette lettre nous la reproduisons *in extenso*.

Paris, le 23 mai 1860.

A Messieurs Brüll et Ermel, Ingénieurs Civils.

Messieurs,

« Vous avez bien voulu, comme membres de la commission nommée par la Société des Ingénieurs Civils, chargée de rendre compte de mon essai sur la théorie de l'injecteur Giffard, examiner avec beaucoup d'attention les conséquences qui se déduisaient des principes posés dans cette note, faire quelques expériences pour vérifier ces conséquences, et m'adresser quelques objections relatives à la perte de puissance vive et à l'expression théorique de la vitesse de sortie de la vapeur.

« Le résultat de nos conférences m'a conduit à formuler quelques réflexions qui complètent ou éclaircissent quelques points sur lesquels j'ai passé trop rapidement dans la première note.

Etablissement de l'équation fournie par le principe général du travail.

« A la sortie même de la tuyère d'émission de vapeur, le poids total de la vapeur émise et de l'eau entraînée est animé d'une

vitesse V′, qui est fournie par la relation générale de la conservation des quantités de mouvement.

« Entre cet instant et celui très-peu éloigné où le même poids traverse la section étroite du tube injecteur divergent, il doit y avoir des tourbillonnements, des bouillonnements qui s'opèrent dans le tube cônique directeur, et des travaux résistants dus aux frottements contre les parois de ce même tube.

« Si l'on considère la différence des puissances vives dont le même poids est animé dans le plan vertical de l'extrémité de la tuyère et dans le plan de la section étroite du tube injecteur, cette différence doit être égale à la perte de puissance vive due au changement de vitesse qui s'est opéré dans un temps très-court et aux travaux résistants ramenés et mesurés dans la section étroite. Nous plaçons l'appareil horizontalement, ce qui annulle le travail de la pesanteur.

« Posée ainsi dans ses termes généraux l'équation est évidente pour savoir s'il y a réellement des bouillonnements dans le tube directeur, ou si effectivement le liquide s'écoule en filets parfaitement rectilignes, il faudrait que l'appareil fût établi en cristal, de manière à laisser à l'œil la faculté de saisir la forme du courant.

« La nature même du phénomène me fait admettre qu'il y a des bouillonnements et des pertes de forces vives, et je commencerai par traiter la question, comme je l'ai fait dans l'essai primitif, en admettant cette hypothèse. Je montrerai ensuite qu'en supposant les filets liquides et parfaitement rectilignes les résultats ne sont modifiés que par des coefficients simplement numériques.

« L'évaluation des travaux résistants présente ici une difficulté réelle ; on ne saurait appliquer les formules empiriques de l'hydraulique, établies par des expériences déjà anciennes, sur des conduites bien différentes comme longueur et comme dimensions des tubes de notre appareil, pour des pressions, des vitesses, des

températures et un état physique des fluides, qui sont loin de se rapprocher des expériences relatives à l'injecteur.

« Je ferai une hypothèse pour évaluer les travaux résistants, et, pour conserver l'homogénéité de l'équation générale due au principe des puissances vives, j'admets que le travail résistant total peut être assimilé à celui que produirait une veine liquide passant dans la section étroite du tube injecteur avec une vitesse *effective* V″; il y aura lieu de vérifier, par des expériences directes, si cette hypothèse ne se rapproche pas plus de la réalité que l'estimation de ces travaux avec les formules empiriques.

« Alors, en conservant les autres notations de l'essai, on obtient sans difficulté l'équation fondamentale

$$(1) \qquad (M + m)\, W_0\, (V' - W) = \frac{\rho' S' V''^3}{2g}.$$

« Pour simplifier cette équation j'appelle V_1 non la vitesse théorique, mais bien la vitesse *effective* de sortie de la vapeur à l'extrémité de la tuyère dans la section S.

Nous avons alors les relations connues :

$$\frac{M + m}{m} = \zeta, \quad m = \frac{\rho S V_1}{g}, \quad M + m = m, \ \zeta = \frac{\rho S V_1\, \zeta}{g}$$

$$V' = \frac{V_1}{\zeta}, \quad W = \frac{\rho S V_1\, \zeta}{\rho' s'}, \quad \frac{S}{S'} = E$$

et je pose, en outre :

$$\frac{\rho}{\rho'} = \omega$$

et

$$V'' = K'' \sqrt{\omega}\ V_1 .$$

« En désignant ici par ω le rapport de la densité de la vapeur au bout de la tuyère à la densité de l'eau, l'expérience devra indiquer soit la constance, soit la loi des variations de K″.

« L'équation (1) se réduit à la suivante :

(2) $$E^2\zeta - \omega E^3 \zeta^3 = \frac{K''^3}{2\sqrt{\omega}}$$

$$E^2\zeta\,(1-\omega E\zeta^2) = \frac{K''^3}{2\sqrt{\omega}}$$

« Sous cette forme on voit facilement que l'on doit toujours avoir $\zeta < \frac{1}{\sqrt{\omega E}}$. Pour déterminer la valeur de E ou du rapport des sections $\frac{S}{S}$ qui rend ζ ou $\frac{M+m}{m}$, c'est-à dire le rapport du poids de l'eau injectée au poids de vapeur émise, un maximum, il faut différencier cette équation et égaler $\frac{d\,\zeta}{d\,E}$ à 0, ce qui donne la relation

$$2E\zeta - 3\omega E^2 \zeta^3 = 0$$

ou plus simplement :

(3) $$E\,\zeta^2 = \frac{2}{3\,\omega}$$

relation simple qui, étant indépendante de K'', démontre une loi facile à vérifier par l'expérience, et établit entre la valeur maximante de E et la valeur maximum de ζ^2 un rapport qui peut servir à vérifier, comme nous le montrerons plus loin, s'il y a, en effet, ou s'il n'y a pas perte de puissance vive.

« Les équations (2) et (3) sont très-facilement résolues et on trouve:

$$E = \frac{3}{2} \times K''^2 \qquad \zeta = \frac{2}{3} \times \frac{1}{K''\sqrt{\omega}}\ .$$

« Dans le cas où on admet le mouvement par filets rectilignes depuis l'origine de la tuyère, les équations du problème deviennent:

$$\frac{E}{\zeta}\,(1 - \omega^2E^2\zeta^4) = K''^3\,\sqrt{\omega}$$

$$E \zeta^2 = \frac{1}{\omega \sqrt{3}}$$

$$E = \frac{3^{\frac{1}{2}}}{2^{\frac{2}{3}}} K''^3 \quad \zeta = \frac{2^{\frac{1}{3}}}{3^{\frac{1}{2}}} \frac{1}{K'' \sqrt{\omega}}$$

« La première fait voir que dans ce cas, comme dans le premier, on doit avoir $\zeta < \frac{1}{\sqrt{\omega E}}$; le produit $E \zeta^2$ diffère par un facteur numérique, de même que E et ζ, comme je l'ai indiqué, et les comparaisons des valeurs pratiquement mesurées de ζ^2 indiqueront s'il y a ou non perte de puissance vive.

« L'expérience doit être consultée pour répondre aux diverses questions qui restent à résoudre.

« Le facteur K'' est-il un nombre constant quelle que soit la pression de la vapeur? C'est-à-dire, le rapport des sections $\frac{S}{S'}$ est-il constant et donne-t-il le maximum d'effet utile pour toutes les chaudières?

« Des expériences délicates peuvent seules répondre à la question, et il faut plusieurs appareils, plusieurs essais, qu'un constructeur est seul en mesure de faire.

« En admettant que cette première question soit résolue affirmativement et qu'on ait mesuré avec soin la valeur de cette constante, le rapport ζ, ou le débit, dépendra de ce coefficient et aussi de la valeur de ω. C'est ici qu'intervient forcément la question de savoir quelle est la densité réelle de la vapeur au sortir de la tuyère, où, ce qui revient au même, la question de savoir si la vitesse de sortie dépend de la détente de la vapeur. Le rapport ω est le rapport de la densité de la vapeur à l'extrémité de la tuyère à la densité de l'eau.

« La valeur mesurée de ζ permettra de déterminer la valeur de

ω, si déjà K″ est connu par la valeur expérimentale du rapport des sections.

« Plusieurs vérifications expérimentales permettent de déterminer la question de savoir s'il y a ou non détente :

« En premier lieu, si on mesure le débit effectif en vapeur d'un appareil et qu'on multiplie son poids par le carré de la vitesse de sortie de la vapeur ; comme ce carré est très-différent, suivant qu'il y a ou non détente, et beaucoup plus grand dans le premier cas que dans le second, on voit facilement, en appliquant les valeurs numériques, que, s'il y a détente, l'appareil pour de la vapeur à 5 atm. doit pouvoir marcher même en réduisant à 1 ou au-dessous de 1 le rapport $\frac{S}{S'}$ par l'enfoncement de la tige dans la tuyère.

« En second lieu, en faisant arriver un tube manométrique métallique très-fin, percé d'ouvertures latérales dans l'intérieur de la tuyère et le plaçant successivement à différents points de son parcours, on reconnaîtra si les pressions de la vapeur varient dans le sens de la détente ; la grande vitesse d'écoulement pourra exagérer, et, par cela même, rendre plus manifestes les différences de pressions ou la détente.

« Si l'on admet, comme suffisamment vérifié par l'expérience, le rapport E constant et sensiblement égal à 1, 7, on trouve pour K″ une valeur 1,064 qui se rapproche beaucoup du coefficient de travail (α) variable de 1,03 à 1,10, d'après M. Vauthier (voir Bélanger page 75, leçons d'hydraulique de 1841-1842) et dans ce cas la valeur expérimentale de ζ montre que le rapport ω correspond à celui qu'on obtient pour de la vapeur détendue aux environs de 2 atmosphères.

« L'établissement pratique du rapport maximant E est très-délicat à obtenir ; la forme homogène de l'équation du travail fait croire qu'il serait extrêmement utile de vérifier par des expériences et des mesures de précision si ce rapport n'est pas sim-

plement égal à $\frac{3}{2}$, alors on aurait $K''=1$ et la constance de E pour toutes les machines à vapeur serait évidemment confirmée; il en résulterait que ζ ne varierait plus qu'avec le rapport ω; et en faisant $K''=1$ pour l'expérience n° 2 faite chez M. Flaud, on trouve que E répond à une détente de 2 atmosphères, 84; valeur très-peu différente de 2 atmosphères, 7, qui est donnée par le calcul des débits; la différence elle-même s'explique par ce fait que dans l'appareil la valeur de E diffère un peu de la véritable valeur maximante; de telle sorte que si dans l'équation (2) on donne à E la valeur adoptée dans l'appareil, à ζ la valeur mesurée 17, à K'' la valeur 1, on trouve pour ω identiquement 2 atmosphères, 7.

« Cette vérification, presque mathématique, confirme de plus en plus la pensée que K'' doit être égal a 1 et E à $\frac{3}{2}$ De nouvelles expériences, faites spécialement dans un but de vérification, sont indispensables et présenteront beaucoup d'intérêt.

« L'appareil étant réglé de manière à débiter le maximum, on voit, par les formules trouvées, que le débit est sensiblement constant si E est constant, quelles que soient les circonstances de l'écoulement dans le tube injecteur.

« On pourra faire varier les pressions dans ce tube à l'aide d'un robinet obturateur et, jusqu'à une certaine limite d'ouverture du robinet, le débit s'effectuera; au-delà, une partie du liquide s'écoulera par le tube de dégagement, et la vitesse se transformera en pression jusqu'à l'obturation complète qui donnera le maximum de pression, maximum qu'on peut calculer par la puissance vive originaire, et qu'on trouvera supérieur à la pression de la chaudière.

« Le débit, pour un même appareil convenablement réglé et pour une même pression, peut varier considérablement avec la température de l'eau d'alimentation, car cette température doit en grande partie déterminer la valeur de ω.

« La position de la tuyère par rapport au tube directeur a aussi une grande influence, mais nous la supposons écartée par le réglement préalable de l'appareil.

« La plus petite valeur du maximum ou le minimum *maximorum* du débit a lieu pour le cas où est le plus grand possible, c'est-à-dire où il n'y a pas de détente ; le maximum *maximorum* a lieu, au contraire, pour le cas où la détente serait la plus grande possible.

« Pour comparer entre elles les valeurs des débits de plusieurs expériences, il faut donc bien s'assurer que la température de l'eau d'alimentation, la pression dans la chaudière et la pression dans le tube injecteur sont exactement les mêmes.

« Dans tout ce qui précède nous avons supposé que la vapeur sortant de la tuyère est sèche, sans mélange d'eau mécaniquement entraînée ; c'est encore là une cause importante dans la variation du débit maximum ; pour des expériences rigoureuses et précises, il faudrait éliminer cette cause d'erreur en puisant la vapeur dans un réservoir de vapeur à pression et à température constante convenablement séparée de l'eau.

« Quand on aura ainsi écarté, par les dispositions sagement combinées de l'expérience, toutes les variations du débit maximum, on pourra vérifier si ce débit est effectivement constant, quelle que soit la pression maintenue dans le tube injecteur, pressions qui peuvent varier depuis une atmosphère, jusqu'à un nombre d'atmosphères supérieur de 1 ou 2 à celui de la pression de la chaudière. Si l'on trouvait des variations, le produit $K'' \omega$ ne serait plus un nombre constant, il serait une fonction du rapport des pressions dans le tube injecteur et dans la chaudière, et il y aurait lieu de voir si E varie avec K'', ou si, ce dernier restant encore constant, ω dépendrait seul du rapport des pressions.

« Toutes ces considérations, qui m'ont été suggérées par vos observations et par la vue des expériences approximatives que

nous avons faites ensemble chez M. Flaud, me paraissent compléter l'essai sur la théorie de l'injecteur, autant que le permettent les connaissances limitées des lois du mouvement des fluides; c'est à l'expérience, guidée par ces considérations, à déterminer, par des mesures aussi exactes que possible, les valeurs à adopter pour les coefficients.

« Veuillez agréer, etc., etc. »

« Paris, le 26 juin 1860.

« Messieurs Brüll et Ermel, ingénieurs civils.

« Dans la lettre que je vous ai adressée relativement à l'essai sur la théorie de l'injecteur Giffard, je me suis occupé de l'établissement de l'équation fournie par le principe général du travail dans deux cas distincts : celui où l'on suppose une perte de puissance vive entre l'extrémité de la tuyère et la section étroite du tube injecteur, et celui où l'on peut admettre le mouvement par filets continus sans tourbillons; j'en ai déduit les valeurs du rapport des sections maximant l'effet utile, et du rapport du poids injecté au poids de vapeur émise.

« La valeur algébrique de ce dernier rapport s'est trouvée vérifiée d'une façon extrêmement exacte, dans l'ordre d'exactitude que l'on peut espérer de ces phénomènes, en substituant au rapport des densités dans la valeur déterminée par la mesure directe des poids débités.

« Cette vérification démontre d'une manière incontestable et vérifiable par des expériences aussi souvent renouvelées que l'on voudra que le phénomène de la détente de la vapeur a lieu dans l'intérieur de la tuyère.

« Il restait encore une question à résoudre : celle de savoir qu'elle devrait être l'étendue de la détente suivant la pression de la vapeur dans le générateur.

« J'ai repris l'étude de cette question, et je m'occupe de déterminer la formule la plus exacte pour exprimer la vitesse d'écoulement, la pression, et, par conséquent, le débit et la puissance vive de la vapeur à l'extrémité de la chaudière. Je me propose de rédiger à nouveau et d'une manière beaucoup plus complète l'essai sur la théorie de l'injecteur.

« En attendant que je puisse vous adresser cette rédaction pour la Société, je tiens à vous faire connaître un premier résultat que j'ai déduit d'un principe ou d'une loi très-générale de la nature.

« Cette loi dynamique qui s'applique à tous les ordres de phénomènes étudiés jusqu'ici par les physiciens ou les géomètres, élasticité, inertie, chaleur, lumière, son, est la suivante :

« Si l'on considère toutes les qualités dont on cherche les valeurs et les lois, dans tous les azimuts autour d'un point quelconque, centre d'un élément de volume ou d'un élément de surface, et qu'on figure leurs valeurs par des lignes qui les représentent en grandeur et en direction, l'enveloppe continue des extrémités de toutes ces lignes est une surface déterminée.

« En considérant les longueurs rayonnant autour du point central comme des forces élémentaires, et en cherchant l'expression générale du *travail* de ces forces, on prouve que ce travail est le produit de l'élément de volume ou de surface par une fonction symétrique de toutes les forces.

« Ce travail élémentaire, dans tous les ordres de phénomènes, doit être un *minimum*, c'est-à-dire que la dérivée de la fonction symétrique est nulle, ou que cette fonction est constante, quelle que soit la direction des axes coordonnés.

« Cette constance conduit à déterminer un système d'axes principaux qui sont les axes de figure d'une surface du second degré,

surface qui jouit de la propriété remarquable de correspondre au minimum de travail ou de dépense, comme je l'ai démontré dans mon mémoire sur les terrassements, remis à l'Académie au mois de décembre dernier. Ainsi, dans la nature, quel que soit l'ordre du phénomène que l'on considère, *le travail élémentaire est un minimum.*

« Dans beaucoup de phénomènes, il ne nous est pas encore possible de mesurer le travail élémentaire des forces intimes, mais nous pouvons souvent mesurer l'*effet utile mis en évidence*; et il est clair que si, pour produire un effet déterminé, le travail élémentaire est un minimum, l'effet utile inconnu du travail déterminé sera le plus grand possible.

« De là cette conséquence, que si, dans un ordre de phénomènes naturels quelconques, on parvient à trouver l'expression variable de l'effet utile ou disponible, en fonction d'une ou de plusieurs variables indépendantes, parmi toutes les valeurs réalisables que peut prendre cette expression, il en est une seule qui sera réalisée et qui deviendra effective, c'est celle qui correspond *au maximum* de la fonction.

« Dans le cas particulier qui nous occupe, il serait peut-être difficile de trouver l'expression du travail élémentaire de toutes les forces qui agissent sur les molécules de vapeur; mais l'effet utile ou disponible peut s'exprimer, au moins d'une manière assez approximative.

« Cet effet disponible et utilisable est la *puissance vive* à l'extrémité de la tuyère, par unité de section.

« Cette puissance vive doit être *un maximum.*

« Par conséquent sa différentielle totale est nulle, et comme elle ne dépend que de la pression et de la température, laquelle est elle-même une fonction de la pression, on a une équation nouvelle qui permet de déterminer la pression à l'extrémité de la tuyère, ou la valeur jusqu'ici inconnue de la détente.

« L'application de ce principe et le calcul numérique des fonctions conduisent à des valeurs de la détente que vérifient les valeurs expérimentales des poids de vapeur débitée et d'eau injectée, que nous avons trouvées ensemble chez M. Flaud.

« Au moment où vous allez faire imprimer pour votre Société ma première lettre et votre rapport, vous jugerez peut-être intéressant de faire connaître en même temps à vos lecteurs les considérations complémentaires qui précèdent. »

« Agréez, Messieurs, etc. »

En terminant cet exposé, nous rappellerons, pour nous résumer, les idées très-nettes, mais seulement approximatives émises par M. Bonnet :

1° Le jet n'est pas entièrement liquide ;

2° La pression varie progressivement de 1 atmosphère à la pression même de la chaudière dans l'ajutage divergent.

L'étude de M. Carvallo, beaucoup plus approfondie et beaucoup plus sérieuse, était par cela même plus délicate et plus minutieuse.

Deux points, surtout, nous ont paru mériter la discussion : la perte de puissance vive due au changement brusque de vitesse et la question de la détente de la vapeur émise. La lettre que nous venons d'analyser éclaircit ces deux points et complète la difficile théorie de l'injecteur.

NOTE

Sur la coulisse de Stephenson

PAR

M. DESMOUSSEAUX DE GIVRÉ

La théorie de la coulisse ordinaire et celle de la coulisse renversée reposent sur la remarque suivante :

Remarque. — Considérons une machine à vapeur :

Soit oM (fig. 1), la manivelle placée au point mort, et op la position correspondante du rayon d'excentrique. Supposons que l'extrémité de la barre d'excentrique soit assujettie à se mouvoir sur une ligne parallèle à l'axe ox, et située à une distance c de cet axe(1).

Désignons par ω les angles décrits par la manivelle ; les mouvements des points p et m suivant ox s'exprimeront respectivement par les équations :

(1) $$x = -r\cos(\omega + a)$$

(1) — M. Philipps, Ingénieur des Mines, a publié, en 1853, une théorie de la coulisse de Stephenson.

Nous nous sommes demandé si on ne pouvait pas arriver à des équations de même forme par une méthode plus élémentaire, et trouver un mode géométrique de réglementation.

Tel a été le but de nos recherches ; nous pensons l'avoir atteint.

Si ce mémoire peut être de quelque utilité aux praticiens, le mérite en reviendra surtout à M. Philipps.

(2) $x = -r\cos(\omega + a) - d + \sqrt{d^2 - \left(c - r\sin(\omega + a)\right)^2} + \text{constante}.$

Dans cette seconde équation, le radical se développe en série très-convergente, car le terme $\left(c - r\sin(\omega + a)\right)^2$ est en général très-petit par rapport à d^2. On a :

$$\sqrt{d^2 - \left(c - r\sin(\omega + a)\right)^2} = d - \frac{c^2}{2d} + \frac{cr\sin(\omega + a)}{d} - \frac{r^2\sin^2(\omega + a)}{2d} + \text{etc.}$$

S'arrêtant au troisième terme, substituant dans (2), et posant $\frac{c}{d} = tg.\ \varepsilon$, il vient(*) :

(3) $$x = -r\frac{\cos(\omega + a + \varepsilon)}{\cos\varepsilon} + \text{constante}.$$

Cette nouvelle constante sera nulle, si l'on prend l'origine des x au milieu de la course du point m.

Si ε ne dépasse guère 6 à 8°, cos ε sera très-peu différent de l'unité, et alors, en comparant les formules (1) et (3), on voit : *que l'obliquité de la barre d'excentrique produit le même effet qu'une augmentation de* $\left(\varepsilon = \text{arc tg } \frac{c}{d}\right)$ *donnée au calage* a *de l'excentrique.*

§ 1er *Réglementation de la coulisse renversée*

Considérons une coulisse renversée suspendue en son milieu q (fig. 2).

Le point q se meut sur un petit arc de cercle dont la *direction* peut s'apprécier assez exactement.

Supposons que cette direction soit précisément la ligne ox ; si

(*) Nous reviendrons sur la légitimité de la suppression du terme $\frac{r^2}{2d}\sin^2(\omega + a)$, lorsque nous analyserons les actions perturbatrices.

la bielle de suspension est assez longue, on pourra considérer le point q, comme se mouvant sur la droite ox. Alors les points $m'm''$ décriront des courbes en 8, généralement assez aplaties, dont la direction sera parallèle à ox.

D'après la remarque précédente, les mouvements suivant ox des points $m'm''$ sont :

$$x' = -\frac{r\cos(\omega + a + \varepsilon)}{\cos\varepsilon}$$

$$x'' = -\frac{r\cos(\omega - a - \varepsilon)}{\cos\varepsilon}.$$

Rien n'est plus simple que de connaître le mouvement d'un point quelconque m de la ligne $m'm''$; on a, en posant $\frac{mq}{m'q} = k$:

$$\frac{x' - x}{x' - x''} = \frac{1 - k}{2}.$$

Substituant dans cette formule les valeurs de x' et x'', il vient, après réductions :

$$(4) \qquad x = kr\frac{\sin(a + \varepsilon)}{\cos\varepsilon}\sin\omega - r\frac{\cos(a + \varepsilon)}{\cos\varepsilon}\cos\omega.$$

Les angles ω sont positifs pour la marche en avant, et négatifs pour la marche en arrière.

Cette formule a été établie en supposant les barres d'excentriques droites; en changeant le signe de ε, on a la formule correspondant aux barres croisées.

Si l'on ne veut introduire dans des formules pratiques que des angles positifs, on aura :

Barres droites (5)

Marche en avant

$$x = kr\frac{\sin(a + \varepsilon)}{\cos\varepsilon}\sin\omega - r\frac{\cos(a + \varepsilon)}{\cos\varepsilon}\cos\omega$$

Marche en arrière

$$x = -kr\frac{\sin(a + \varepsilon)}{\cos\varepsilon}\sin\omega - r\frac{\cos(a + \varepsilon)}{\cos\varepsilon}\cos\omega$$

Barres croisées (6)

Marche en avant

$$x = kr\frac{\sin(a-\varepsilon)}{\cos\varepsilon}\sin\omega - r\frac{\cos(a-\varepsilon)}{\cos\varepsilon}\cos\omega$$

Marche en arrière

$$x = -kr\frac{\sin(a-\varepsilon)}{\cos\varepsilon}\sin\omega - r\frac{\cos(a-\varepsilon)}{\cos\varepsilon}\cos\omega.$$

Or un mouvement dont l'équation a la forme(*)

$$x = A\sin\omega + B\cos\omega$$

pourrait être produit par un excentrique circulaire dont le rayon serait

$$\sqrt{A^2 + B^2},$$

et l'angle de calage

$$\text{arc } tg\left(-\frac{A}{B}\right).$$

Donc les mouvements exprimés par les équations (5) et (6) seraient produits par des excentriques circulaires dont le rayon ρ et l'angle de calage α seraient donnés par les formules :

$$\left.\begin{aligned} tg\alpha &= k\,tg\,(a+\varepsilon) \\ \rho &= \frac{r}{\cos\varepsilon}\sqrt{k^2\sin^2(a+\varepsilon)+\cos^2(a+\varepsilon)} \end{aligned}\right\}\text{avec les barres droites;}$$

$$\left.\begin{aligned} tg\,\alpha &= k\,tg\,(a-\varepsilon) \\ \rho &= \frac{r}{\cos\varepsilon}\sqrt{k^2\sin^2(a-\varepsilon)+\cos^2(a-\varepsilon)} \end{aligned}\right\}\text{avec les barres croisées.}$$

De là, une méthode simple de réglementation de la coulisse : — On cherche pour un certain cran, c'est-à-dire pour une certaine valeur de k, les éléments d'une distribution à excentrique circulaire qui satisferait à certaines conditions d'avance, de détente, etc.....

(*) Les équations obtenues par M. Philipps sont aussi de la forme

$$x = A\sin\omega + B\cos\omega.$$

Ces éléments sont :

α — angle de calage de l'excentrique.

$E = \frac{e}{\rho}$ rapport du recouvrement extérieur du tiroir au rayon de l'excentrique.

$I = \frac{i}{\rho}$ rapport du recouvrement intérieur du tiroir au rayon de l'excentrique.

Connaissant l'angle α qui correspond à une certaine valeur de k, et connaissant d'ailleurs l'angle ε, on trouvera l'angle de calage a des excentriques réels par la formule :

$$tg\ \alpha = k\ tg\ (a \pm \varepsilon).$$

Quant au rayon r, on voit que la distribution ne dépend pas de sa valeur absolue, mais seulement des rapports $\frac{e}{r}$, $\frac{i}{r}$ des recouvrements à ce rayon. On a :

$$\frac{e}{r} = \frac{E}{\cos \varepsilon}\sqrt{k^2 \sin^2 (a \pm \varepsilon) + \cos^2 (a \pm \varepsilon)},$$

$$\frac{i}{r} = \frac{I}{\cos \varepsilon}\sqrt{k^2 \sin^2 (a \pm \varepsilon) + \cos^2 (a \pm \varepsilon)},$$

dont les seconds membres sont tout connus, a étant calculé.

Il faut donner à r une valeur assez petite pour que la coulisse ne s'incline pas trop, ce qui gêne le mouvement du coulisseau, et assez grande pour que la vapeur ne soit pas trop étranglée.

Représentation des équations précédentes.

Décrivons une circonférence avec le rayon $\frac{r}{\cos \varepsilon}$ (fig. 3); menons par le centre o une droite op' telle que $p'oM = a \pm \varepsilon$ selon que les barres d'excentriques seront droites ou croisées, et op symétriques de op'. Tirons $p'p''$, cette droite pourra représenter la coulisse à une certaine échelle.

Le mouvement d'un point de la coulisse est égal, comme on le sait, au mouvement que produirait un certain excentrique circulaire.

Si nous tirons op, nous aurons :

$$\left.\begin{array}{l} po = \alpha \text{ angle de calage} \\ po = \rho \text{ rayon} \end{array}\right\} \text{de l'excentrique fictif.}$$

En effet on a :

$$tg\ po = k\ tg\ (a \pm \epsilon) = tg\ \alpha.$$

$$po = \frac{r}{\cos \epsilon} \sqrt{k^2 \sin^2 (a \pm \epsilon) + \cos^2 (a \pm \epsilon)} = \rho.$$

ϵ est le plus souvent assez petit pour que l'on puisse remplacer en tout ceci $\frac{r}{\cos \epsilon}$ par r.

Si la coulisse était rectiligne, les milieux des courses de tous les points seraient sensiblement sur une perpendiculaire à l'axe ox; mais alors, en relevant ou abaissant la bieille N qui conduit le tiroir, il arriverait que le tiroir cesserait d'osciller également de part et d'autre de l'axe des lumières.

En décrivant la coulisse avec un rayon égal à la bielle N, le tiroir oscille toujours à peu près symétriquement de part et d'autre du même axe; si de plus le calage des deux excentriques est le même, l'avance linéaire du tiroir sera constante pour tous les crans.

Prenons $ot = e$, $ov = i$, les longueurs qt, qv seront les avances linéaires à l'admission et à l'émission.

§ 2. *Réglementation de la coulisse mobile.*

Considérons une coulisse mobile suspendue en son milieu q; (fig. 4); plaçons la au point mort. Supposons que l'arc décrit par le point q ait pour direction ox.

Nous sommes alors dans les même conditions que lorsque nous

parlions de la coulisse renversée, et les mêmes formules exprimeront ici le mouvement de chaque point de la coulisse, par exemple du point q qui conduit actuellement le tiroir.

Si, pendant le relevage, le point de suspension v (fig. 5) reste sensiblement à la même distance du point o, la figure décrite par la coulisse dans le mouvement de la machine sera toujours la même.

Appelons encore $2c$ la longueur $m'm''$ (fig. 5), d la longueur des barres d'excentriques, k le rapport $\frac{qm}{qm'}$, enfin posons encore $\varepsilon = \text{arc}\ tg\ \frac{c}{d}$. Pour mettre le tiroir en rapport avec un point m de la coulisse, on abaisse ou on relève celle-ci de $moq = k\varepsilon$ selon que le point m correspond à la marche en avant ou à la marche en arrière. Les trajectoires des points de la coulisse sont alors inclinées de $k\varepsilon$.

Faisons tourner de $k\varepsilon$ en sens contraire la figure formée par la coulisse, la suspension, les rayons d'excentriques et l'axe du tiroir (fig. 6), l'axe ox' va coïncider avec l'axe ox de la machine, l'axe du tiroir viendra en omt.

Le calage de l'excentrique d'avant deviendra $a - k\varepsilon$.

Celui de l'excentrique d'arrière deviendra $a + k\varepsilon$;

Et, comme ce mouvement fictif ne change pas la relation qui existe entre les positions du piston et du tiroir, nous pouvons connaître le mouvement réel du point m, en appliquant à la nouvelle figure la théorie de la coulisse fixe.

Ainsi, les éléments (α, ρ) de l'excentrique fictif correspondant à un point quelconque (k) d'une coulisse mobile seront donnés par les équations suivantes :

avec les barres droites $\begin{cases} tg\ (\alpha + k\varepsilon) = k\ tg\ (a + \varepsilon) \\ \rho = \dfrac{r}{\cos \varepsilon} \sqrt{k^2 \sin^2 (a + \varepsilon) + \cos^2 (a + \varepsilon)} \end{cases}$

avec les barres croisées $\begin{cases} tg\ (\alpha - k\,\varepsilon) = k\ tg\ (a - \varepsilon) \\ \rho = \dfrac{r}{\cos\varepsilon}\sqrt{k^2 \sin^2 (a - \varepsilon) + \cos^2 (a - \varepsilon)} \end{cases}$

formules aussi simples que celles obtenues pour 1 coulisse renversée.

Représentation des équations précédentes. — (Fig. 7).

Supposons pour fixer les idées que les barres soient croisées; si la coulisse était fixe, prenant $q\,p'_3 = a - \varepsilon$, $q\,p''_3 = a - \varepsilon$ et tirant $p'_3\,p''_3$, cette droite représenterait la fonction

$$\rho = f\ (\alpha).$$

Mais, supposons qu'avec les mêmes dimensions, la coulisse soit mobile, il faudra pour les mêmes valeurs de ρ, augmenter les angles α de $k\,\varepsilon$, (k étant égal à $\dfrac{ph}{p'_3 h}$).

On aura alors pour représentation de l'équation $\rho = f\ (\alpha)$ une courbe passant en p'_2 et p''_2 (tels que $q\ p'_2 = q\ p''_2 = a$) et tangente à $p'_3\ p''_3$ en h.

Si les barres étaient droites, la courbe serait $p'_2\ v\ p''_2$.

Si en même temps la coulisse était fixe, la courbe serait $p'_1\ v\ p''_1$.

La figure 7 permet de comparer les distributions obtenues avec les quatre variétés de l'appareil; on y voit que, si la coulisse est fixe, l'effet du croisement des barres s'obtiendra sensiblement en diminuant de $2\,\varepsilon$ le calage des excentriques.

Il n'y a donc que trois distributions essentiellement distinctes:

— Dtᵒⁿ : par coulisse fixe;

— Dtᵒⁿ′ : par coulisse mobile avec barres droites;

— Dtᵒⁿ″ : par coulisse mobile avec barres croisées.

Supposons que, dans l'étude d'un projet, on ait à choisir l'une de ces trois dispositions.

On déterminera les éléments α', ρ', e, i d'une distribution à excentrique circulaire satisfaisant à certaines conditions d'admission, détente, etc. (par exemple pour la marche ordinaire).

On déterminera les éléments α'', ρ'', d'un autre excentrique circulaire qui, avec les recouvrements e, i, satisferait à d'autres conditions d'admission, détente, etc. (par exemple pour la mise en train).

On connaîtra alors deux points m', m'', de la courbe $\rho=f(\alpha)$ (fig 8), et selon que le point m'' sera ou à droite de la verticale du point m', ou très-voisin de cette ligne, ou à gauche, on adoptera la coulisse mobile avec barres droites, la coulisse fixe, la coulisse mobile avec barres croisées (1).

Effet de la courbure de la coulisse.

Pour que le tiroir oscille toujours symétriquement de part et d'autre de l'axe des lumières, il faut que les milieux des trajectoires de tous les points m de la coulisse soient à égale distance du centre o de l'essieu. En traçant la coulisse avec un rayon

(1) Il est arrivé parfois que des mécaniciens pensant améliorer la marche de leur machine ont changé la disposition des barres d'excentriques. Il est facile de voir comment la distribution se trouve modifiée.

Soient $ps'q$, $ps''q$, (*fig.* 9) les courbes représentant l'équation $\rho = f(\alpha)$ avec les deux dispositions des barres; soient m', m'' les points de ces deux courbes correspondants à une même admission. Les éléments α', ρ', correspondants au cas des barres croisées seront respectivement plus petits que les éléments α'', ρ'' correspondants aux barres droites; donc, pour une même admission, on a, dans le système des barres droites, plus de refoulement, plus d'émission anticipée et moins de détente.

Ajoutons, pour achever la comparaison, qu'avec les barres droites les avances linéaires augmentent à mesure qu'on détend davantage, que le contraire a lieu avec les barres croisées, qu'avec les barres droites la vapeur est moins étranglée, mais qu'on ne peut pousser la détente aussi loin.

Si l'on considère les distributions produites au même cran dans les deux systèmes, les résultats de la comparaison seront conformes aux règles énoncées dans le guide du mécanicien (page 200 et suiv.).

égal à la longueur d des barres d'excentriques, cette condition se trouve à peu près remplie.

Cas où le calage des deux excentriques est différent.

Si l'on considère la courbe $\rho = f(\alpha)$, dans chacun des quatre appareils que nous avons étudiés, on voit que cette courbe est déterminée en forme et en grandeur par un seul de ses points.

— Si l'on se donne α pour une valeur choisie de k, cette courbe est déterminée de forme.

— Si l'on se donne ρ pour une autre valeur de k, cette courbe est déterminée en grandeur.

Et il n'y a plus rien d'arbitraire dans la distribution.

Mais si l'on consent à donner aux excentriques des calages différents (a', a''), on peut satisfaire à une condition de plus.

En effet, posons : (fig. 10)

$$\frac{a' - a''}{2} = i, \quad \frac{a' + a''}{2} = a.$$

Toutes les formules précédentes s'appliqueraient, si elles se rapportaient à une manivelle fictive qui aurait sur la manivelle réelle une avance de i. On aura donc, si les calages des excentriques sont différents, les formules :

$$\left.\begin{aligned} tg\ (\alpha - i) &= k\ tg\ (a \pm \varepsilon) \\ \rho &= \frac{r}{\cos \varepsilon}\sqrt{k^2 \sin^2 (a \pm \varepsilon) + \cos^2 (a \pm \varepsilon)} \end{aligned}\right\} \text{pour la coulisse fixe;}$$

$$\left.\begin{aligned} tg\ (\alpha \pm k\,\varepsilon - i) &= k\ tg\ (a \pm \varepsilon) \\ \rho &= \frac{r}{\cos \varepsilon}\sqrt{k^2 \sin^2 (a \pm \varepsilon) + \cos^2 (a \pm \varepsilon)} \end{aligned}\right\} \text{pour la coulisse mobile.}$$

Supposons, pour fixer les idées, que la coulisse soit mobile ; donnons-nous des calages arbitraires $(\alpha'\ \alpha'')$ pour deux valeurs de k, (k', k'') nous tirerons a, i, c'est-à-dire a', a'', des deux équations.

$$tg\,(\alpha' \pm k'\,\varepsilon - i) = k'\,tg\,(a \pm \varepsilon).$$
$$tg\,(\alpha'' \pm k''\,\varepsilon - i) = k''\,tg\,(a \pm \varepsilon).$$

La courbe $\rho = f(\alpha)$ est alors déterminée en forme et en position.

Si l'on se donne ρ pour une troisième valeur de k, la courbe est déterminée en grandeur.

Supposons qu'on donne plus d'avance à l'excentrique de la marche en avant, la course du tiroir sera augmentée et la vapeur moins étranglée (fig. 11) (1) ; mais on aura moins d'admission au dernier cran de la marche en avant, et par suite la machine démarrera avec moins de facilité.

Cette théorie est entachée par diverses causes d'erreur; en voici quelques-unes :

Les points d'attache des barres d'excentriques ne sont pas toujours dans l'axe de la coulisse.

Pendant le relevage, le point de suspension v ne reste pas toujours à la même distance de l'axe de l'essieu moteur (fig. 12).

Les courbes décrites par les extrémités de la coulisse ne sont pas toujours très-aplaties, comme nous l'avons supposé à l'origine de nos calculs.

Cette dernière cause d'erreur en amène une autre : le coulisseau oscille dans la coulisse d'une quantité parfois considérable.

Enfin le point de suspension q ne se meut pas exactement suivant une ligne droite comme nous l'avons supposé.

Pour ces diverses raisons, la théorie qui précède ne se vérifie pas toujours également bien, et il y a des machines auxquelles elle ne saurait convenir.

Pour la généraliser, nous avons entrepris de soumettre au

(1) Puisque à un même calage fictif correspondra un rayon fictif plus grand.

calcul quelques-unes des perturbations; ce sera l'objet d'un second mémoire.

§ 3. *Application à divers exemples.*

Application aux machines Engerth mixtes du chemin de fer du Nord.

La coulisse est renversée, double; les points d'attache des barres d'excentriques et de la bielle de suspension sont à peu près dans l'axe de la coulisse.

Les barres d'excentriques sont croisées; il y a de part et d'autre du point mort 15 crans pour la marche en avant et 15 crans pour la marche en arrière.

Voici les éléments principaux de cette distribution :

Angle de calage	avant	120°
Id.	arrière	120°
Rayon d'excentriques		45 m/m
Recouvrements extérieurs égaux		12 m/m 5
Id.	intérieurs égaux	2 m/m 5
Longueur de la coulisse entre les points d'attache des barres d'excentriques		300 m/m
Longueur des barres d'excentriques		1m 245
Avance linéaire à l'admission pour tous les crans		5 m/m
Id.	à l'émission pour tous les crans	15 m/m
Ouverture maxima des lumières pour le 15e cran		32 m/m

Au quatrième cran on a :

Admission pendant les $\frac{47\frac{1}{2}}{100}$ de la course du piston.

Détente pendant les $\frac{34\frac{1}{2}}{100}$ id.

Emission anticipée pendant les $\frac{18}{100}$ id.

Vérification $47\frac{1}{2} + 34\frac{1}{2} + 18 = 100$

Emission pendant les $\frac{72\frac{1}{2}}{100}$ de la course du piston.

Compression pendant les $\frac{24\frac{3}{4}}{100}$ de la course du piston.

Refoulement pendant les $\frac{2\frac{3}{4}}{100}$ id.

Vérification : $72\frac{1}{2} + 24\frac{3}{4} + 2\frac{3}{4} = 100$.

Aux crans

0, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 11, 13, 15.

les courses du tiroir sont :

36, 39, 40, 43, 46, 55, 62, 70, 79, 86.

Je vérifie d'abord si le mouvement du tiroir au 4e cran (marche en avant) pourrait être produit par un excentrique circulaire. Je cherche les angles ω', ω'', ω''', ω^{IV} décrits par la manivelle pendant l'admission anticipée, l'admission, l'émission anticipée et l'émission.

On sait qu'avec une distribution à excentrique circulaire on doit avoir :

$$\frac{\omega' + \omega''}{2} = \frac{\omega''' + \omega^{IV}}{2} = (\pi - \alpha)$$

α étant l'angle de calage.

On trouve sur l'épure (*fig.* 15) :

$$\frac{\omega' + \omega''}{2} = \frac{-19^\circ + 87^\circ\,20'}{2} = 34^\circ\,10'$$

$$\frac{\omega''' + \omega^{IV}}{2} = \frac{130^\circ - 63^\circ\,30'}{2} = 33^\circ\,15'.$$

Donc la distribution du 4e cran pourrait être produite par un excentrique circulaire dont le calage serait de 146° 17′.

On peut, sur la même épure, déterminer les rapports des recouvrements au rayon ρ de l'excentrique fictif, c'est-à-dire à la demi-course du tiroir.

On trouve :

$$e = 0,6 . \rho$$
$$i = 0,113 . \rho.$$

Vérifions maintenant la formule.

$$tg\ \alpha = k\ tg\ (a - \varepsilon).$$

On a :

$$c = 0^m, 150\ ;\ d = 1^m, 245\ ;\ \text{d'où :}$$

$$\varepsilon = \text{arc}\ tg\ \frac{c}{d} = 6^\circ 52'$$

Pour le 4e cran de la marche en avant on *a* :

K = 0,28 (mesuré directement)
α = 146°17′ (obtenu par l'épure indiquée (fig. 13).)

Donc en aura :

$$tg\ (-146^\circ 17') - 0.28\ tg\ (6^\circ 52' - a).$$

Tirons de cette équation la valeur de *a*.

On a :

$$\log\ (tg - 146^\circ 17') = \bar{1},82435$$
$$\log\ 0,28 = \bar{1},44716$$
$$\log\ tg\ (6^\circ 52' - a) = 0,37719$$

d'où

$$a - 6^\circ 52' = 112^\circ 45'.$$
$$a = 119^\circ 37'.$$

Cet angle mesuré directement sur la machine est de 120°.

Pour vérifier la construction graphique, cherchons les courses du tiroir aux différents crans.

Donnons au rayon d'excentrique une valeur provisoire r = 90 m/m. :

On trouve par l'épure indiquée (fig. 14) le rapport des quantités :

r — rayon d'excentrique
ρ — demi-course au 4e cran (avant) $= \frac{42,5}{90}\ r.$

Par la 1re épure nous avions trouvé :

e recouvrement extérieur $= \frac{60}{100}\rho$ du 4[e] cran (avant),

i recouvrement intérieur $= \frac{11,3}{100}\rho$ id.

Donc on a :

$$e = \frac{60}{100} \cdot \frac{42,5}{90} \; r = \frac{25,5}{90} \; r,$$

$$i = \frac{11,3}{100} \cdot \frac{42,5}{90} \; r = \frac{48.0}{90} \; r.$$

Prenons $\rho = 45$ m/m, comme cela a lieu sur la machine, et nous devons obtenir pour e, i, etc. les valeurs données par une mesure directe; c'est en effet ce qui a lieu, comme l'indique le tableau suivant :

	Cotes déterminées par les épures		Cotes mesurées directement sur la machine.	
Recouvrement extérieur. . .	12	3/4	12	1/2
Recouvrement intérieur. . .	2	1/2	2	1/2
Course au point mort. . . .	36	»	36	»
Course au cran 4 (marche avant).	42	1/2	42	»
Course au cran 15 (marche avant).	90	»	86	»
Avance linéaire à l'admission.	5	1/4	5	»
Avance linéaire à l'émission.	15	1/2	15	»

Autre exemple

Sans traiter complétement cet exemple qui est emprunté à la

théorie de M. Philipps, je vais me borner à y vérifier la formule :

$$tg\ (\alpha \pm k\ \varepsilon) = k\ tg\ (a \pm \varepsilon)$$

Cet exemple se rapporte à la machine 2 du chemin de fer de l'Ouest.

Il y a de part et d'autre du point mort huit crans pour la marche en avant, et huit crans pour la marche en arrière. La coulisse est double ; les barres sont croisées.

On a :

$$\varepsilon = \text{arc}\ tg\ \frac{c}{d} = 6^\circ.$$

Il résulte des calculs de M. Philipps que pour le deuxième cran de la marche en avant on a :

$$\alpha = 150^\circ 30'$$
$$k = 0,25$$

alors

$$k\varepsilon = 1^\circ 30'$$

On doit avoir :

$$tg\ 149^\circ = 0,25\ tg\ (a - 6^\circ).$$

Tirons de cette équation la valeur de a :

$$\log tg\ (-\ 149^\circ) = \bar{1},77877$$
$$\log k = \bar{1},39794$$
$$\log tg\ (\varepsilon - a) = 0,38083$$

d'où

$$a - \varepsilon = 112^\circ\ 35',$$

et

$$a = 118^\circ\ 35'.$$

Par mesure directe prise sur la machine, M. Philipps avait trouvé :

$$a = 120^\circ.$$

Autre exemple.

Je vérifie encore la formule

$$tg\,(\alpha \pm k\varepsilon) = k\,tg\,(a \pm \varepsilon)$$

sur un autre exemple traité également par M. Philipps, et relatif à la machine 0,4 du chemin de fer de l'Ouest.

Cette machine est à barres d'excentriques droites ; on a de part et d'autre du point mort 10 crans pour la marche en avant et 10 crans pour la marche en arrière.

La coulisse est simple ; on a

$$\varepsilon = \text{arc}\ tg\,\frac{c}{d} = 9^\circ\ 21'.$$

Il résulte du calcul de M. Philipps, que, pour le 4e cran de la marche en avant, on a :

$$\alpha = 147^\circ\ 19'$$
$$k = 0{,}266$$

alors

$$k\varepsilon = 2^\circ\ 30'.$$

On doit avoir :

$$tg\ 149^\circ\ 49' = 0{,}266.\ tg\,(a + 9^\circ\ 21').$$

Tirons de cette équation la valeur de a :

$$\text{Log}\ tg\,(-149^\circ, 49') = \bar{1},76464$$
$$\text{Log}\ k = \bar{1},42586$$
$$\text{Log}\ tg\,(-\varepsilon - a) = 0{,}33878.$$

d'où :

$$a + \varepsilon = 114^\circ\ 37'.$$

et

$$a = 105^\circ\ 16'.$$

Par mesure directe prise sur la machine, M. Philipps avait trouvé :

$$a = 104^\circ.$$

NOTE

Sur les gisements des provinces Basques et de la province de Santander, visités en 1856 et 1857.

PAR

M. A. HUET.

Ayant, pendant près d'une année, parcouru les provinces Espagnoles qui bordent le golfe de Biscaye, je viens communiquer à la Société les impressions qui me sont restées et l'opinion que j'ai pu me former sur la valeur des gisements métallifères de ces provinces, dont on à fait tant de bruit dans ces derniers temps.

Ces gisements sont très-nombreux, sans répondre néanmoins à la réputation exagérée qu'on a tenté de leur faire, surtout en ce qui concerne les calamines.

Les minerais de fer, par leur importance bien réelle et leur bonne qualité, doivent, sans hésitation, être placés au premier rang; ils constituent pour cette partie de l'Espagne une richesse minérale très-sérieuse. Groupés principalement entre *Bilbao* et *Castro* autour du *Sommo Rostro*, dont ils portent le nom dans le commerce, ces gisements bien connus sont très-activement exploités et fournissent un minerai estimé, dont le rendement est de 40 à 45 0/0, et qui est l'aliment principal des forges françaises depuis Bayonne jusqu'au littoral breton.

A l'époque dont je parle, on tentait également près de *Castro* l'exploitation de gites de même nature, admirablement situés au bord de la mer et à un ou deux kilomètres du port de Castro; je ne sais si ces exploitations, qui sont dans de bonnes conditions d'avenir, ont donné aujourd'hui des résultats satisfaisants, et se sont développées. Quelques indices de fer, trouvés sur l'une des pointes qui s'avancent au fond de la magnifique baie de Santander, et par conséquent à pied d'embarquement, ont donné lieu, pendant que je me trouvais dans cette ville, à une tentative d'exploitation qui n'a eu, sans doute, que des pertes à réaliser. En effet ces prétendus minerais de fer, que j'ai pu voir en leurs gisements, n'étaient autres que des calcaires fortement colorés, il est vrai, par l'oxide de fer et au milieu desquels se rencontrent quelques veines de fer insignifiantes, pauvres, irrégulières, sans continuité et contenant de fortes quantités de pyrite. Quelques fragments de cette hématite compacte (minerai normal de toute la côte) de très-bonne qualité, arrachés de leur gîte primitif et chariés sur ce sol meuble, avaient donné naissance à cette exploitation; 10,000 tonnes environ de ce calcaire étaient alors extraites, et il est très-vraisemblable qu'on n'a pas trouvé d'acheteurs. Cette opération, je m'empresse du reste de le dire, avait été montée et était dirigée administrativement et techniquement par un ancien avoué, je crois. Néanmoins la vue de ces quelques échantillons me donna l'idée de rechercher leur véritable gisement et j'eus la satisfaction de le trouver à 1 kilomètre plus haut, dans un petit bois dont le nom m'a échappé, et de le etrouver encore au pied d'une petite église qui se trouve sur la route de *Santander* à *Burgos* à gauche lorsque l'on se dirige vers cette dernière ville. J'y ai fait faire quelques fouilles et j'ai pu constater que ce minerai est légèrement pyriteux; rendu à bord, il ne reviendrait pas à plus de 4 fr. 50 à 5 fr. la tonne.

Enfin, j'ai eu entre les mains de très-beaux échantillons pro-

venant des Asturies; mais n'ayant pas eu occasion de visiter les gîtes d'où ils sortent je me borne à les signaler.

En résumé, le fer abonde dans ces terrains; mais ici, comme partout et même plus que partout ailleurs, l'exploitation est subordonnée à la question si difficile des transports et quelle que soit la valeur minéralogique de ces minerais de fer, ils n'ont en réalité aucune valeur industrielle s'ils ne sont pas situés sur le lieu même de l'embarquement. Ils reposent généralement dans les enclaves du calcaire, à la limite des terrains dolomitiques.

Après le fer viennent, mais avec une importance moindre, les autres métaux : cuivre, plomb et zinc.

Le cuivre, relativement à ces trois derniers, est celui qui se présente sous le meilleur aspect bien qu'en quantité moindre. Ses gisements, concentrés principalement aux alentours de *Bilbao*, s'étendent vers *Vittoria* d'un côté, *Reynosa* de l'autre, et semblent prendre d'autant plus de régularité qu'on se rapproche des régions où apparaissent les porphyres euritiques et dioritiques, du voisinage desquels ils ne s'écartent pas.

Dans le terrain des environs de *Bilbao*, la pyrite cuivreuse, en gîtes irréguliers, est généralement enclavée dans une roche schisteuse quelquefois calcaireuse.

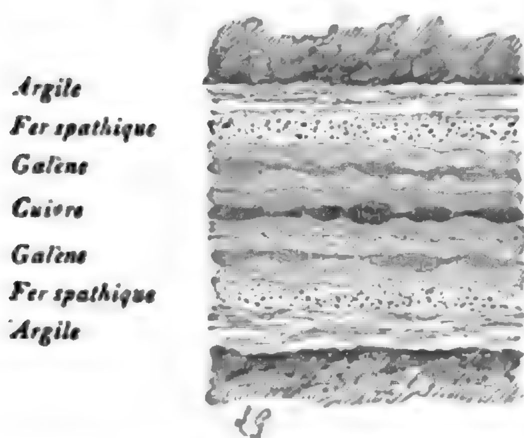
Parmi ces gisements je signalerai, comme un des plus remarquables, celui *d'Olaviaga*, situé entre *Bilbao* et la mer, et dont la galerie d'alongement, percée dans le schiste, par laquelle il a été attaqué, débouche sur le chemin de halage même qui borde la rivière (rive gauche). Cette galerie poursuivait alors la veine sur une longueur de plus de 100 mètres, rencontrant partout une pyrite cuivreuse à 8 p. 100 de teneur moyenne et en quantité très-suffisante pour donner lieu à une belle exploitation.

Vers le S. O. de *Bilbao* on trouve, dans la vallée de *Turigori*, plusieurs gîtes, soit abandonnés soit encore en exploitation; un de ces derniers est exploité depuis près de 15 ans.

A trois lieues de *Mondragon* deux gîtes sont reconnus ; plusieurs autres sont en exploitation dans les environs de *Vittoria*. Enfin près d'*Elgoïbar*, la galène se rencontre alliée, dans le même gîte, à la pyrite cuivreuse ; il y existe aussi un gite de cuivre gris.

Jusqu'à présent je n'ai eu à signaler que des gîtes irréguliers, cependant on rencontre aussi de véritables filons fentes, mais ils sont rares.

Les personnes qui ont fait la traversée de *Bilbao* à *Santander*, ont pu remarquer dans la coupe des falaises calcaireuses qui forment la pointe du cap de *Luzuero*, à quelques kilomètres au N. de *Sommo Rostro*, deux beaux filons fente, avec faille, qui viennent plonger dans la mer, après s'être dessinés en coupe verticale sur toute la hauteur de la falaise. Ces filons quartzeux sont stériles ; mais, si l'on entre dans l'intérieur, en marchant vers le S. O., on arrive dans la vallée de *Trucios*, et là on pourra voir en exploitation un véritable filon fente traversant le calcaire presque verticalement ; sa puissance est de 1 mètre, ses salbandes sont argileuses, sa contenance en métaux, en allant des épontes au centre, est ainsi classée: fer spathique, galène et pyrite cuivreuse formant le ruban central ; la gangue est un quartz roux fendillé, très-facile à abattre.



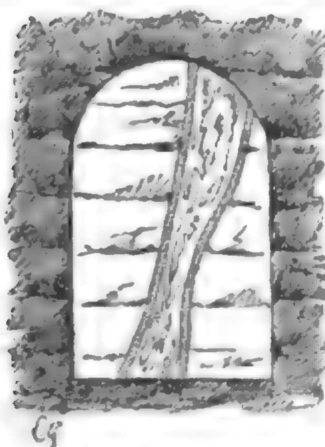
A l'époque où j'ai visité ce filon, il n'était encore étudié que sur une longueur de 30 m. environ, en direction, et sur une profondeur de 10 à 12 m. ; il était alors peu riche en minerais (comme quantité) ; mais tout annonçait en profondeur un enrichissement très-probable et j'ai lieu de croire que les travaux que j'ai conseillés ont conduit à un résultat satisfaisant. La pyrite cuivreuse était à une teneur de 12 à 15 p. 100 ; quant à la

galène, soumise à l'essai, elle m'a donné les résultants suivants :

Plomb	55 p. 100.		
Argent	450 grammes par 1,000 kil. de plomb.		
Or	10 id.	id.	id.

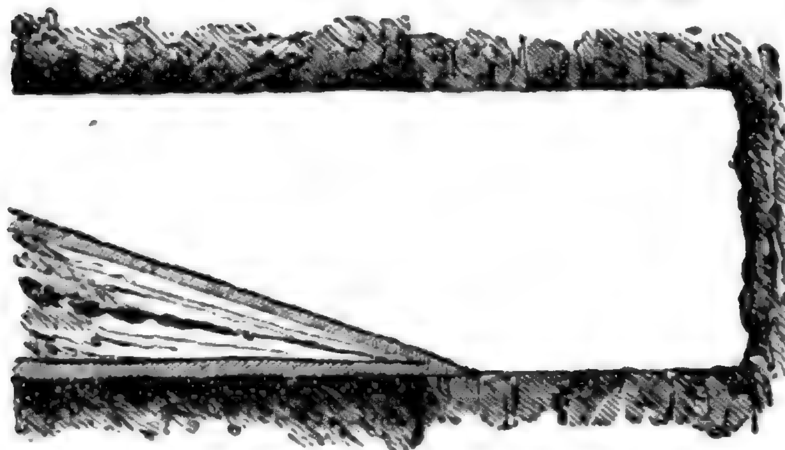
Si nous quittons maintenant ce littoral élevé, pour nous élever plus haut encore, en nous dirigeant de *Santander* vers le sud, par la route allant à Madrid par Valladolid, à 80 k. environ de *Santander* et sur les hauts plateaux de la chaîne, nous trouvons la ville de *Reynosa*, à 16 kil. S. O. de laquelle on exploite de la houille. Si de *Reynosa* nous marchons maintenant 7 kilom. vers le N. O. nous arriverons dans la vallée de *Campo*, au village de *Soto*, district municipal de *Espinilla;* c'est dans le voisinage, à *Suso*, que sont les sources de l'Ebre. Dans cette magnifique vallée, dont le terrain, composé de schistes micacés, schistes marno-argileux, schistes rouges bruns et calcaire très-fin, m'a semblé devoir appartenir au trias, se trouve un champ de fructure, dans lequel 7 beaux filons fente étaient alors reconnus, 3 marchant N. E. et S. O. et les autres se dirigeant N. O. et S. E. Ces beaux filons étaient alors étudiés sur 100 m. en direction et à 40 m. en profondeur, présentant en tous sens une régularité très-remarquable d'allures, de composition et de richesse. Celui qui était alors le plus activement poursuivi s'enfonçait, comme les autres, du reste, presque verticalement ; c'est le 21, le 22 et le 23 septembre 1856 que j'ai eu l'occasion de visiter cette exploitation. L'attaque en profondeur, sur le gîte même, consistait en un puits de 40 m., laissant sur deux de ses parois le filon parfaitement à nu ; à 30 m. de ce puits, pris au plus bas de la vallée, était ouverte en allongement une galerie qui, à ce jour, avait de 90 à 100 m. de longueur, et telle était la régularité du gîte, que cette galerie était très-sensiblement en ligne droite. Sur tout ce parcours, tant en profondeur qu'en direction, le filon n'éprouve aucun changement; sa puissance totale entre mur et toit est régulièrement de 25 à

30 centim.; lés salbandes sont argileuses et le remplissage du gîte, sur une épaisseur de 20 centim., est une belle pyrite cuivreuse à la teneur moyenne de 15 p. 100 avec gangue de quartz ; l'inclinaison est à peine de 10°. Sur la longueur de la galerie on voyait 3 retrécissements du gîte et la puissance totale d'une éponte à l'autre descendait alors de 30 à 15 centim., mais ces étranglements n'avaient pas plus de 1 m. et le filon reprenait de suite sa marche normale.



Un de ces étranglements existait précisément au fond de la galerie qui présentait l'aspect ci-contre. Quant à la stratification générale, elle est restée horizontale. A partir du jour, les 85 premiers mètres de cette galerie sont dans le schiste argilo-marneux, les autres sont dans le calcaire à grains fins. Les boisages sont de 0,50 en 0,50.

Il existe un deuxième filon qui, quoique peu étudié, mérite cependant d'être mentionné; attaqué en allongement, par une galerie de 18 m. seulement, il présentait cette particularité que, poursuivi,avec succès et régularité, dans le schiste argilo-marneux, il s'est perdu dès que les travaux sont entrés dans le schiste brun; comme on avait déjà remarqué que, dans tout ce district, le schiste brun, jusqu'à ce jour, était resté entièrement stérile, les travaux devaient être entrepris dans le but, soit de chercher un rejet, soit de constater la stérilité du schiste brun ; j'ai



tout lieu de penser que c'est là le seul résultat qui sera atteint.

Le fonçage de la galerie d'allongement et du puits a produit 4,000 quintaux espagnols, soit 190 tonnes de minerai à 15 p. 100, récolté par un simple triage à la main, et il restait encore à soumettre au traitement mécanique une notable quantité de minerais plus pauvres.

J'ai dit que la houille était exploitée à 16 kil. au S.O. de *Reynosa*; rendue dans cette ville elle valait alors 13 fr. 10 la tonne;

La tonne de coke valait 25 fr.

Cette houillère donne également lieu à une extraction de fer.

Près des gîtes dont je parle, mais entre eux et la mer, au N.O. de *Reynosa*, on avait également découvert une autre couche de combustible; des travaux de reconnaissance y étaient alors entrepris; cette couche paraissait très-tourmentée dans ses allures et n'était pas encore en voie de production.

Cette proximité du combustible avait donné l'idée de traiter les minerais sur place pour mattes avant de les expédier à Swansea.

Les bois pour le boisage étaient ainsi payés :

Une pièce de 3m80 de long et 0.12 sur 0.12. . . . 5 fr.

Madrier de 3m80 id. et 0.30 sur 0.10. . . . 1 fr.

Ces prix venaient d'être convenus pour un marché d'approvisionnement passé quelques jours avant mon arrivée.

Ces bois sont de chêne blanc. On remarquera sans doute que le prix du madrier est inférieur à celui du bois équarri, cela tient à une condition toute particulière; au moment du marché le madrier abondait et le bois équarri manquait, et il fallait s'en recourer à tout prix.

Les conditions de transport étaient assez convenables pour un minerai de peu de valeur.

On payait 5 fr. pour le transport de la tonne de minerai de la mine à *Reynosa* à une distance est de 7 kilomètres, et 15 fr. pour le transport d'une tonne de *Reynosa* à *Rejejada*, port d'embarquement sur le *Rio Suances ;* la distance est de 50 kilomètres environ.

Le chemin de fer actuellement ouvert de *Santander* à *Palencia* a dû nécessairement améliorer considérablement ces conditions, tant pour la valeur des combustibles, que pour le transport.

Les travaux en galerie et en puits étaient donnés à tâche à une société d'ouvriers basques, on leur payait 30 réaux (le réal vaut 0 fr. 265) par varre cube (la varre est de 0m. 90), ce qui équivaut à peu près à 11 fr. le mètre cube ; ils devaient épuiser les eaux et poser les boisages.

Ces gisements sont, sans contredit, ce que l'on peut voir de plus beau dans les provinces dont je parle. L'exploitation était affermée par des ingénieurs des mines et des ponts et chaussées, qui s'étaient réunis pour la mettre en valeur, moyennant une redevance à payer au concessionnaire, cette redevance par tonne étant proportionnelle à la teneur du minerai.

Après les minerais de cuivre, viennent ceux de plomb et de zinc, qui, ayant les mêmes gisements, ne doivent pas par conséquent être séparés, bien que pourtant, mais par exception, le plomb se rencontre quelquefois seul.

D'une très-grande irrégularité d'allures, enclavés généralement dans des roches fissurées, brisées, craquées en tous sens et laissant sans adhérence d'énormes blocs menaçant à chaque instant de s'ébouler, ces amas sont d'une exploitation difficile. Ils peuvent se diviser en deux classes bien distinctes :

1° Ceux enclavés dans les fentes du calcaire contenant des calamines assez compactes, plutôt des silicates que des carbonates avec plomb carbonaté, et se rencontrant surtout dans les pro-

vinces basques et dans les parties élevées au-delà de *Santander;*

2° Ceux qui gisent dans le voisinage et dans les fissures des roches dolomitiques, contenant la calamine à l'état de carbonate avec paillettes de blende, galène et pyrite de fer. Cette calamine est légère, boursouflée, caverneuse, très-ferrugineuse, embourbée par le lit d'argile au milieu duquel elle repose généralement à l'état d'amas; ces derniers dominent dans la province de *Santander* le long du littoral ouest; ils s'étendent depuis *Cartès* en se dirigeant vers *Torrelavega, Santillana, Orèna,* et *Cumillas.* En résumé, tous ces gisements, surtout au point de vue de la calamine, semblent n'avoir qu'un avenir limité à un très-petit nombre d'années. Partout, en effet, on y voit apparaître la blende et la galène, et, d'après la proportion de ce mélange, qui m'a semblé augmenter en raison de la profondeur, tout me porte à croire que bientôt la calamine disparaîtra pour faire place à la blende, à la galène et à la pyrite de fer, ainsi que cela a eu lieu dans un grand nombre de gîtes belges.

Les gîtes principaux exploités à cette époque étaient, dans les provinces basques, celui de *Nestosa,* placé à la limite des frontières basques et de la province de *Santander,* à 20 kilomètres du port de *Santona,* avec lequel il communique par nn chemin praticable. Situé dans des fissures du calcaire, sortes de cheminées où des vides existent quelquefois, il produisait un silicate blanc très-remarquable. Puis vient le gissement de *Marquina,* peu étudié alors, situé sur le Mont *Euphemia* à 18 kilom. de Saint-Sébastien, à 4 kilom. de la mer, près d'un petit port accessible aux navires de 100 à 150 tonneaux. Situé dans le calcaire dolomitique, il produisait une calamine légère et ferrugineuse.

A *Mondragon,* près de *Vergara,* et à 300 m. environ à l'O. de la ville, au pied d'une route bordée par un ruisseau, se trouve un filon couche intercalé dans le calcaire, et de direction N. et S.,

puissant de 1 m. et plongeant O. de 50 à 60°. Ouvert en affleurement sur une longueur de 300 m. environ, ce gîte produisait une calamine compacte très-ferrugineuse, avec paillettes de galène; là encore, je pense que la calamine des affleurements disparaîtra pour faire place en profondeur à un gîte plutôt plombeux que blendeux; de forts échantillons de galène, que j'ai arrachés moi-même, me confirment dans cette opinion. En suivant la direction du gîte j'ai retrouvé son affleurement dans le petit ruisseau qui borde la route sous laquelle disparaît ce filon; au pied d'une bonne route qui borde le *Rio Deba,* jusqu'au petit port du même nom, dont il est éloigné d'environ 35 kilom., l'exploitation de ce gîte offrirait des avantages.

Dans la province de *Santander*, les principales exploitations sont celle de *Montanesa*, située au-dessus de *Torrelavega*, dans les fentes du calcaire; l'extraction a fourni une belle calamine blanche silicatée très-compacte. Certains échantillons se présentent sous forme concrétionnée d'un blanc bleuâtre d'apparence opaline. Mais la grande masse est un minerai blanc mat, très-dur, veiné d'un silicate noir ayant la même dureté. A cette calamine a succédé un beau plomb carbonaté. En redescendant vers la mer, on arrive à cette ligne, que j'ai signalée plus haut, partant de *Cartès* pour finir dans les environs de *Cumillas;* tous les amas qu'on y rencontre, et ils sont nombreux, sont situés dans les calcaires dolomitiques, reposent sur des lits d'argiles et fournissent des calamines légères et ferrugineuses que j'ai déjà signalées. Parmi elles je signalerai la calamine de *Cartès*, qui présente une grande quantité d'échantillons avec galène octaèdrique.

Si nous cherchons maintenant à embrasser l'ensemble de ces gisements, pour nous rendre compte de la loi qui les régit, nous verrons que sur toute la ligne courbe qui s'étend de *Bilbao* en passant par *Vittoria* et *Reynosa*, le terrain secondaire est soulevé par des épanchements porphyriques très-importants, la ro-

che soulevante est d'un aspect verdâtre, à pâte compacte, et contient de nombreux cristaux d'amphibole. Puis, si on abandonne cette ligne pour partir encore de *Bilbao* et, suivant cette fois le littoral, se diriger à l'ouest vers *Santander*, on verra que, peu à peu, la roche ignée disparaît et que la dolomie lui succède. A *Castro*, en effet, elle déjà très-rare, mais la dolomie apparaît très-sensiblement et elle augmente graduellement à mesure qu'on se rapproche de *Santander* pour dominer complétement à son tour au-delà de cette ville, vers *Cumillas*. Enfin, si, de *Santander*, on s'élève, se dirigeant au sud, vers *Reynosa*, on voit se produire le phénomène inverse de celui que je viens de décrire; à mesure que l'on s'élève, la dolomie disparaît, et c'est vers *Las Caldas* qu'on trouve le point analogue à celui de *Castro*.

Or, les gisements calaminaires à minerais carbonatés, légers, caverneux et ferrugineux, empâtés dans des dépôts argileux, reposent dans les fentes des dolomies et ont leur type bien caractérisé dans les exploitations importantes de *Cumillas*, *Torrelavega*, *Reocin* et *Cartès*, sous forme d'amas en bourses ou poches de dimensions considérables, contenant de la blende, de la galène et de la pyrite de fer.

Dans les régions moins dolomitiques, ces amas occupent dans le calcaire des fentes ou cheminées remplies d'un minerai plus compacte et silicaté, sans remplissage d'argile, et laissent souvent dans le gîte des parties entièrement vides, comme à la *Nestosa* et à la *Montañesa*.

Si l'on s'avance encore plus vers les régions porphyriques, en s'éloignant par conséquent de celles où domine la dolomie, on voit, peu à peu, le plomb apparaître en plus grande quantité; la calamie, devenue rare, disparaît entièrement pour faire place à la blende, qui s'efface à son tour, et la galène domine comme à *Puente Viesgo;* poursuivant toujours cette marche ascendante,

les galènes commencent à se moucheter de pyrite de cuivre et la blende n'apparait plus que très-accidentellement dans quelques gîtes.

Ce changement, que je signale en marchant de *Santander* vers *Reynosa,* se produit également si l'on se dirige vers *Bilbao,* en suivant la route du littoral indiquée plus haut. A *Castro,* en effet, ce sont les plombs qui dominent, et, dans le filon fente de *Trucios* situé entre *Castro* et *Bilbao,* nous avons trouvé le cuivre avec le plomb, et accidentellement, je dois dire aussi, quelques échantillons de blende. Enfin, au contact des roches soulevantes vers *Bilbao, Vittoria* et *Reynosa,* je n'ai à signaler que des gîtes cuivreux.

Étudions maintenant ces gîtes au point de vue de leurs allures générales; dans les dolomies, la plus grande irrégularité partout et toujours; dans les calcaires, il y a déjà régularité relative, puisque nous y avons constaté le filon couche de *Mondragon,* celui de *Las Caldas* et le filon fente plombo-cuivreux de *Trucios,* enfin vers le contact des roches soulevantes, bien que pourtant dans les schistes subordonnés se trouvent de nombreux gîtes cuivreux irréguliers, nous avons trouvé le beau district de *Reynosa.*

On voit donc :

1° Que la régularité des gisements métallifères semble, dans cette contrée, être en raison de la proximité des roches éruptives dont ils dépendent;

2° Que les minerais cuivreux sont liés à ces roches d'une façon intime et confinés principalement vers les contacts.

La teneur en argent des plombs de ces contrées semblerait également obéir à une loi telle que leur richesse serait proportionnelle à la proximité des gîtes aux roches ignées. Malheureusement, lorsque j'eus lieu de faire cette remarque basée, du reste, sur un nombre trop limité d'essais, pour avoir rien de sérieux,

il était trop tard, et j'étais trop loin et trop occupé d'autres soins pour avoir pu répéter, et en assez grand nombre, des essais à ce point de vue en notant bien exactement la provenance des plombs et la position des gîtes dont ils auraient été extraits. Dans ceux que j'ai eu occasion de faire, le hasard seul a-t-il groupé les résultats obtenus de manière à me suggérer cette remarque? Je ne sais, en tout cas je la livre pour ce qu'elle est aujourd'hui, laissant à ceux qui auront et le temps et l'occasion de la vérifier le soin d'en tirer des conséquences plus positives.

L'examen des gisements fait en particulier et dans leur ensemble, on peut, au point de vue de l'exploitation, se résumer ainsi : que les gîtes, quoiqu'en très-grande quantité, sont, en général, dans des conditions difficiles d'exploitation, surtout au point de vue économique; que la calamine s'y rencontre accidentellement et doit bientôt disparaître ; et que, par conséquent, il seraitimprudent d'entreprendre, en vue de son extraction seule, des opérations de longue haleine ; qu'aux conditions inhérentes aux gîtes eux-mêmes s'en joignent d'autres d'un intérêt tout aussi sérieux, je veux parler de la grande cherté des bois, et, pour les gisements éloignés de la mer, de la presque impossibilité des transports. L'exploitation, du reste, telle qu'elle se pratique généralement aujourd'hui aura bientôt détruit ceux de ces gisements qui offrent le plus de chances de réussite. En effet, le sol est fouillé et remué à l'aventure; aucune pensée de prévoyance ne préside aux décisions de l'exploitant qui, presque toujours, est le premier venu, complétement étranger à l'art des mines. Les travaux, dans ces terrains brisés, s'éboulent les uns sur les autres, la roche est attaquée et le minerai arraché au hasard, sans but défini, sans route tracée à l'avance; rien n'est prévu et l'on ne songe aux eaux que lorsque déjà elles ont envahi les travaux et chassé devant elles ces mineurs imprévoyants; ainsi disparaissent à jamais des richesses dont on aurait pu tirer un plus long profit. Quant

aux transports, ils sont, comme je l'ai dit déjà, une grande cause d'impossibilité devant laquelle les plus hardis ont dû reculer; ce sont des chemins inimaginables pour qui n'a pas parcouru l'Espagne; ceux où deux bœufs suspendus aux flancs des montagnes tirent péniblement et de leur pas lent 200 k. au maximum, en glissant d'aspérité en aspérité, sont pompeusement désignés sous le nom de *routes carossables*. Que l'on juge donc de celles où les mules seules peuvent s'aventurer. Des compagnies sérieuses et surtout des administrations prudentes et prévoyantes pourraient seules surmonter d'aussi graves obstacles, et c'est là ce qui manque et manquera longtemps encore, car l'esprit public n'est pas sérieusement porté vers cette industrie à laquelle on peut dire que personne n'ajoute foi. Pour quelques-uns c'est un aliment jeté à leur esprit aventureux; ils veulent bien jouer, risquer un peu pour gagner beaucoup, c'est un passe-temps, une loterie et rien de plus. Pour d'autres c'est une occasion de spéculation de mauvais aloi qu'il n'ont point laissé échapper et c'est la grande majorité. Des aventuriers étrangers, français surtout, que des infortunes politico-commerciales ont jetés sur ces côtes, ont les premiers allumé cette fièvre de spéculation minière qui n'a d'autre but que de faire des dupes en détruisant la richesse publique. Ce sont eux qui ont créé dans ces provinces cette race de propriétaires de mines qu'un ingénieur espagnol de grand talent, aujourd'hui inspecteur des mines, appelle à si juste titre *mineros de papel;* c'est-à-dire spéculateurs de bas étage, trafiquant de titres de mines plus ou moins valables appelés *talons*; or un talon consiste en ceci : une personne quelconque se présente dans les bureaux de l'administration compétente et déclare qu'en tel lieu dont elle donne le relèvement elle déclare l'existence d'un gîte; la déclaration est inscrite sur un livre à souche et le talon de ce livre est mis en main du déclarant pour lui servir au besoin à démontrer sa priorité; ceci n'a donc d'autre va-

leur que celle que l'on peut attacher en France au dépôt d'un brevet d'invention, la mine peut, et c'est ce qui arrive la plupart du temps, ne pas exister. Muni de ce morceau de papier, de ce talon, le déclarant (*minero de papel*), cherche un acquéreur. De deux choses l'une, en faisant cession de son titre, ou il fait une dupe, ou il rencontre un faiseur plus en grand qui fait collection de ces titres pour en tirer parti à l'étranger où on ignore en général leur valeur véritable et où, par conséquent, on les prend pour des titres réels de propriété, ayant eu la sanction de l'administration des mines. On comprend facilement ce qui arrive alors et je vais citer pour exemple un fait dans lequel j'ai eu à intervenir. Un de ces industriels vient à Paris, muni de ses talons; il s'adresse à un honorable négociant, exhibe ses titres de propriété, annonce d'énormes quantités de minérais extraits et prêts à être exportés; l'affaire se conclut, et il reçoit une certaine somme comptant. Je suis envoyé sur les lieux; sur 41 gîtes soit disant concédés, informations prises et la valeur des talons m'ayant été expliquée, il n'y avait en réalité qu'une seule concession, qui par le fait d'un autre porteur de talon était sous le coup d'un procès qui dure encore aujourd'hui; les 40 autres concessions étaient simplement des *dénonces* dont on avait retiré les talons, c'est-à-dire des mines imaginaires ou dont il fallait faire l'exploration pour arriver, si toutefois gîte il y avait, à obtenir la concession après deux ou trois années de travaux de recherches. Les minerais vendus existaient bien, c'étaient des blendes et des galènes. Pour couvrir l'acheteur je voulais m'empresser de les expédier, mais, au moment où j'allais en opérer l'embarquement, intervint un nouveau personnage, le propriétaire réel qui s'opposa avec justice à l'enlèvement de son bien. Bref, faute d'avoir connu la loi des mines espagnoles, l'acquéreur en fut pour ses avances.

Un fait presque identique vient de se reproduire tout ré-

cemment dans une vallée des Pyrénées (vallée d'*Aran*). Quelques individus se sont rendus acquéreurs d'une concession, et, avec elle, de 12 ou 13 talons de déclarations faites sur des gisements de pyrites de fer et autres, de semblable importance négative. Pressés par des besoins d'argent, ces honnêtes industriels, comptant sur l'ignorance générale en matière de talons de déclaration de mines, ont négocié un emprunt, en faisant au prêteur, pour sa garantie et en toute bonne foi, je me plais à le supposer, vente à *remere*, non pas de la concession véritable, mais d'un de ces gisements imaginaires dont ils faisaient grand tapage.

Lors de la tournée d'inspection faite dernièrement par l'ingénieur en chef de la province (Catalogne), toutes ces demandes, sans consistance, sont tombées à néant par suite de la reconnaissance officielle de leur non-valeur, hélas, trop réelle; les concessions ont été par conséquent refusées et la garantie s'est évanouie elle-même ainsi que cela était prévu.

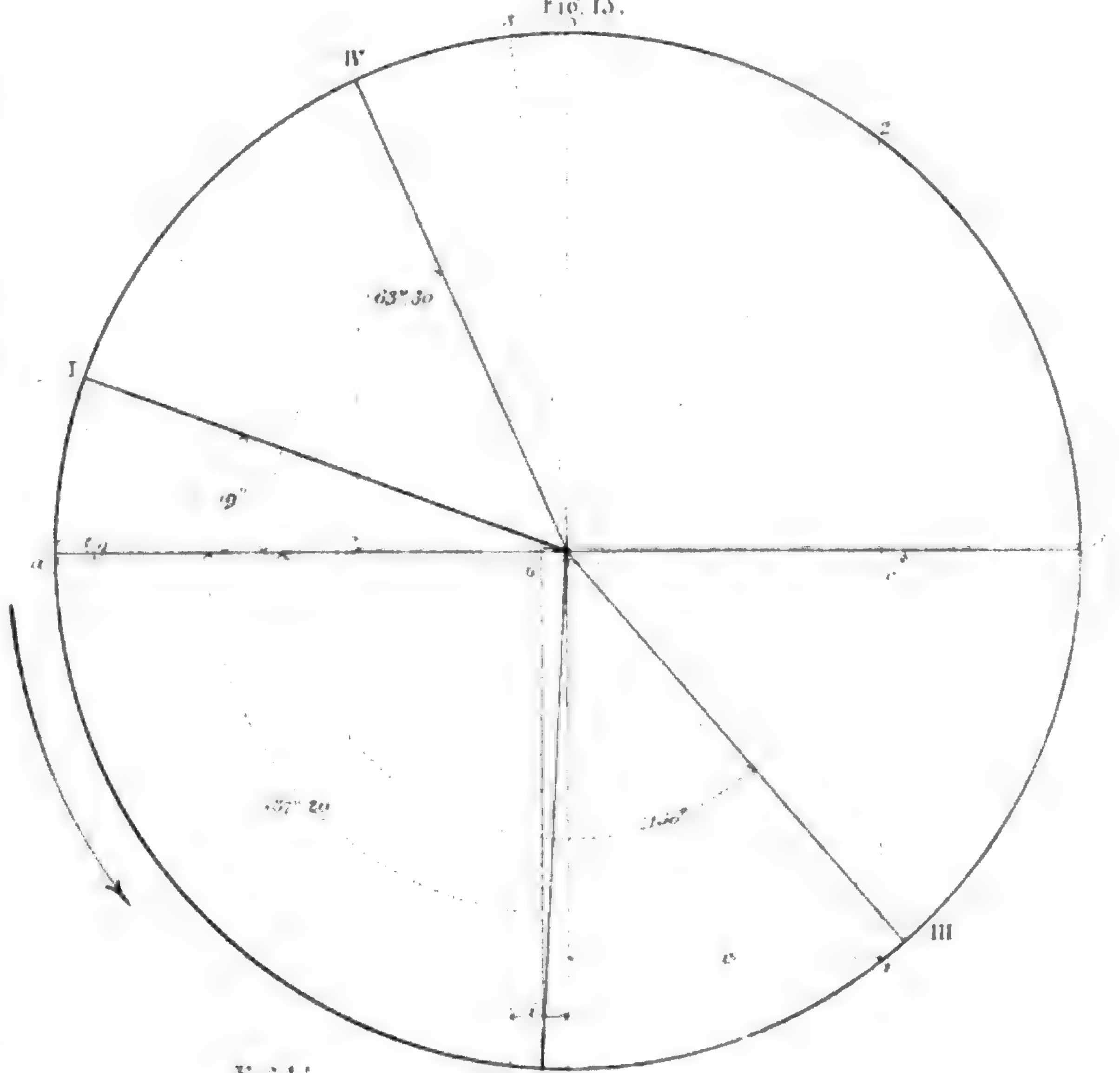
J'ai cru devoir entrer dans ces détails, afin de prévenir contre ces manœuvres ceux qui pourraient être appelés, comme je l'ai été, à intervenir dans des affaires de ce genre; de telles leçons ne doivent être perdues pour personne; les signaler c'est éviter à d'autres des écoles onéreuses.

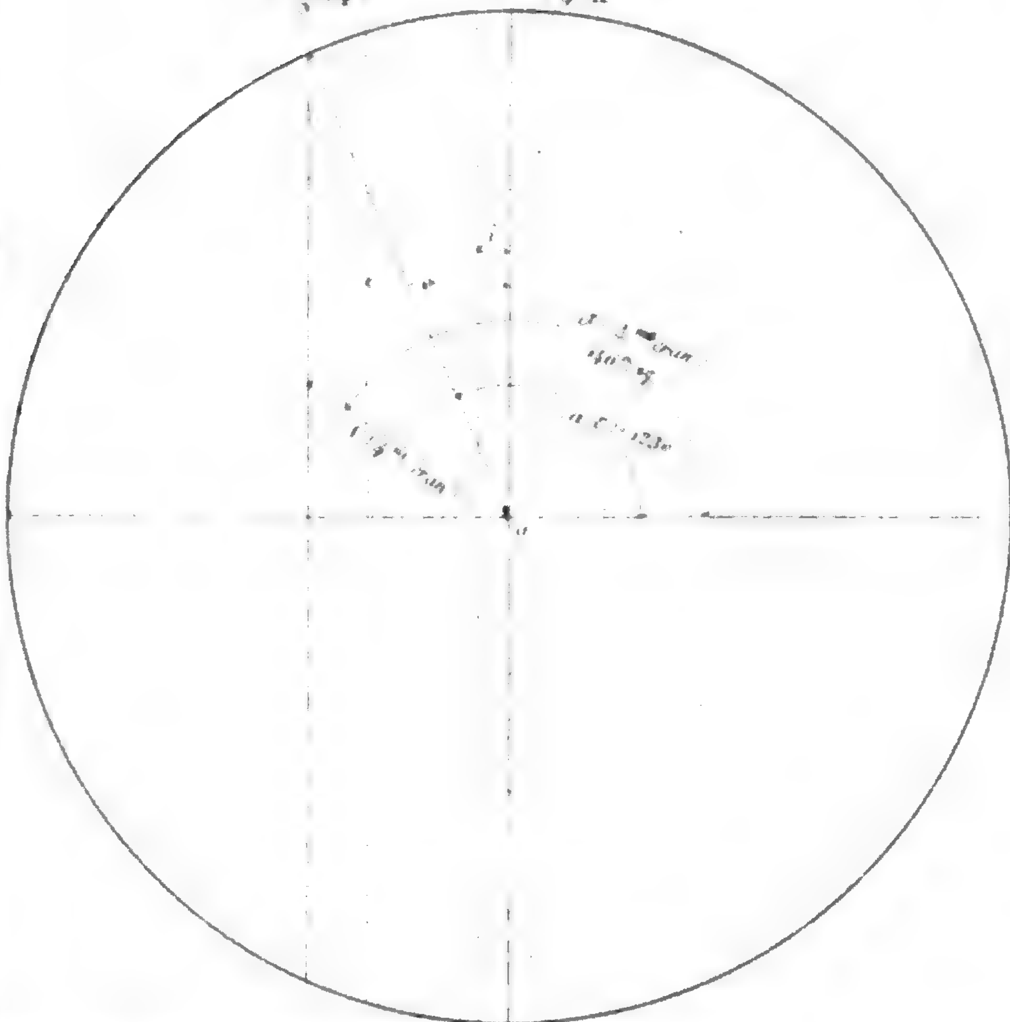
Je terminerai, par une dernière remarque sur laquelle j'appelle l'attention des ingénieurs qui auront occasion de parcourir les Pyrénées françaises et espagnoles, afin de la corroborer ou de la rectifier si besoin est. C'est que, en général, tous les gisements plombeux contenus dans les schistes se bornent à de simples indices sans valeur industrielle, c'est-à-dire inexploitables, et que presque tous les gisements capables, au contraire, de donner lieu à exploitation sont contenus dans de forts noyaux du calcaire, enclavés dans les schistes pour ceux des régions élevées de la chaîne, ou placés à la limite des schistes pour les gisements des parties inférieures. Enfin parmi ces gisements du

calcaire, l'attention doit se porter plus particulièrement sur ceux de la direction N. S., ceux de la direction E. O. n'étant presque toujours que les indices des premiers et d'une stérilité relative impropre à l'exploitation.

J'espère pouvoir revenir plus tard et plus au long sur cette question que je me contente de signaler aujourd'hui.

1492. — Typ. GUIRAUDET, place de la Mairie, 2, à Neuilly.





Etabl.t de E. Noblet, Editeur

MÉMOIRES

ET

COMPTE-RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(JUILLET, AOUT, SEPTEMBRE 1860)

N° 11

Pendant ce trimestre on a traité les questions suivantes :

1° *De l'identité des agents qui produisent le son, la chaleur, la lumière*, etc., etc., par M. Love. (Voir le résumé de la séance du 3 août, page 253).

2° *Bâtiment à vapeur l'Adriatic*, par M. Jules Gaudry. (Voir le résumé de la séance du 7 septembre, page 263).

3° *Procédés et appareils pour les fondations tubulaires* de MM. Fortin-Herrmann. (Voir le résumé de la séance du 7 septembre, page 264).

Pendant ce trimestre la Société a reçu :

1° De M. Eugène Flachat, membre de la Société, un exemplaire de son Mémoire sur la *Traversée des Alpes par un chemin de fer ;*

2° De M. Giffard, membre de la Société, un exemplaire de sa

Notice théorique et pratique sur l'Injecteur automoteur propre à l'alimentation des chaudières à vapeur et à l'élévation de l'eau ;

3° De M. Oppermann, les n°s de juillet, août et septembre, du *Portefeuille économique des machines*, des *Nouvelles Annales de la construction*, et de *l'Album pratique de l'art industriel;*

4° Les n°s de juillet, août et septembre du journal *The Engineer ;*

5° De la *Société des anciens Elèves des écoles Impériales d'Arts-et-Métiers*, un exemplaire de son annuaire pour l'année 1860 ;

6° De l'*Institution of Mechanical Engineers*, le n° d'avril de leur bulletin ;

7° Les n°s de juin, juillet et août des *Annales des conducteurs des Ponts-et-Chaussées*;

8° Les n°s de janvier, février, mars et avril des *Annales des Ponts-et-Chaussées* ;

9° Le n° de la cinquième livraison de 1859 des *Annales des Mines* ;

10° De M. Perdonnet, membre de la Société, un exemplaire du tome second de son *Traité élémentaire des chemins de fer ;*

11° Le n° de janvier , février et mars 1860 du *Bulletin de la Société de l'Industrie minérale de St-Etienne ;*

12° Le n° du Bulletin de la *Société Impériale et Centrale d'Agriculture* ;

13° Le n° de juillet, août et septembre 1860 des *Annales télégraphiques ;*

14° Le n° de juillet, août et septembre des *Annales forestières et métallurgiques* ;

15° De M. Desnos, membre la Société, les n°s de juillet, août et septembre du *Journal l'Invention* ;

16° Les n°s de juin, juillet et août du *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse;*

17° Les n°s de mai et juin 1860 du *Bulletin de la Société d'Encouragement ;*

18° Les n°s de mai et juin de la *Revue des Ingénieurs Autrichiens* ;

19° De M. César Daly, les n°s 1 et 2 de la *Revue générale de l'Architecture et des Travaux publics* ;

20° De M. Ebray, membre la Société, un exemplaire d'une notice sur la *Composition de l'appareil apicial de certains Echinodermes et sur le genre protophite.*

21° De M. Jules Gérard, un exemplaire de sa brochure intitulée : *Exploration du Sahara et du Continent Africain* ;

22° De M. Noblet, éditeur, un exemplaire du n° de mai et juin 1860 de la *Revue universelle des Mines et de la Métallurgie ;*

23° De M. Vérard de Sainte-Anne, un exemplaire de sa brochure intitulée : *Ligne de Télégraphe ;*

24° De M. Larpent, membre de la Société, un mémoire intitulé : *Essai sur le matériel des grandes lignes de chemins de fer :*

25° De M. Eugène Péreire, membre de la Société, un exemplaire de ses *tableaux sur les questions d'intérêts et d'assurances* ;

26° De M. Chabat, architecte, un exemplaire de sa publication intitulée : *Bâtiments de chemins de fer ;*

27° De MM. Latour et Gassend, ingénieurs, un exemplaire de leur ouvrage intitulé : *Travaux hydrauliques maritimes ;*

28° De M. Jules Gaudry, membre de la Société, une note sur *le bâtiment à vapeur l'Adriatic* ;

29° De MM. Fortin-Herrmann, un memoire sur les *Fondations de ponts ;*

30° De M. le Ministre des travaux publics de Belgique, un exemplaire du compte-rendu des *Opérations du chemin de fer de l'État pendant l'année* 1859 ;

31° De M. Charles Priès, un exemplaire de sa notice sur la *Nouvelle machine de Marly* ;

Les membres nouvellement admis pendant ce trimestre son t suivants :

Au mois d'août.

MM. Le Brun-Raymond, présenté par MM. Molinos, Pronnier et de Dion.

Périssé, — par MM. Cauvet, Desnos et Donnay.

Au mois de septembre.

MM. Cazales de Fondouce, présenté par MM. Faure, Tronquoy et Delon.

Coindet, — par MM. Huet, Geyler et Limet.

Joly Pierre, — par MM. Vuigner, Flachat, et Petiet.

Jolly Cesar, — par MM. Vuigner, Flachat, et Petiet.

West, — par MM. Marié, Diard et Tardieu.

RÉSUMÉ DES PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

PENDANT LE 3e TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1860

SÉANCE DU 3 AOUT 1860

Presidence de M. Faure, *Membre du Comité.*

M. Love donne lecture de la troisième partie de son travail, sur l'*identité des agents qui produisent le son, la chaleur, la lumière*, etc. Il revient d'abord sur la question de l'unité de l'électricité, et termine quelques observations sur ce sujet, en rendant compte d'expériences nouvelles qui démontrent, *par le fait*, l'existence d'une seule électricité susceptible de se constituer à des états de tension variés. Il examine ensuite quelles sont les conditions sous l'empire desquelles l'électricité passe à l'état raréfié, et montre que de même que l'air qui est en mouvement dans un tuyau perd de sa pression à mesure qu'il s'éloigne de l'origine du mouvement et qu'il a rencontré un obstacle croissant par son frottement contre les parois du tuyau ; de même l'électricité, dans l'appareil qu'il a mis sous les yeux de la société, traversant une masse métallique d'une forme particulière, se trouve des deux côtés de cette masse à deux états de tension différents. C'est pour le même motif que, le fluide passant, en traversant le verre, de l'intérieur à l'extérieur de la bouteille de Leyde, se trouve sur l'armature extérieure à l'état raréfié. Il en est de même dans le condensateur d'Epinus. L'expérience interprétée, comme il convient, fait voir, d'ailleurs, que le verre a la singulière propriété d'emmagasiner dans ses pores une quantité considérable de fluide, jusqu'à ce qu'il y arrive à un état de tension qui le fait éclater ; à moins qu'il ne trouve lentement issue par un plateau métallique en contact avec le verre chargé et en communication avec le sol. Le déchargement d'un condensateur ou d'une bouteille de Leyde isolés, par les contacts successifs des deux plateaux ou des deux armatures, et le soulèvement alternatif des deux balles de sureau placées sur les dits plateaux, s'expliquent facilement. Un contact de l'un ou l'autre des deux plateaux ou armatures ne peut avoir lieu sans qu'il en résulte un choc de l'électricité sur

le doigt ou le conducteur qu'on lui présente. Ce choc se transmet au fluide accumulé dans la lame de verre, l'ébranle, et par suite une partie de ce fluide s'extravase pour venir se répandre sur les plateaux du condensateur. Mais, celui du plateau touché s'écoule immédiatement dans le sol; et il n'y a plus, de libre et d'apparent, que le fluide répandu sur le plateau resté isolé ; ce qui se traduit naturellement par le soulèvement de la balle qui s'appuyait précédemment sur ce plateau. En touchant celui-ci, le même phénomène se produit évidemment de l'autre côté.

M. Love revient ensuite sur une expérience dont il avait parlé dans une précédente communication, et dans laquelle des balles de sureau électrisées devaient se maintenir dans l'espace et tourner sous l'influence d'une sphère centrale également électrisée. Aucun des vases spéciaux faits pour cet objet n'a réussi. Ils n'ont servi qu'à éclairer l'auteur sur la répartition de l'électricité sur des conducteurs de formes variées, et laisser entrevoir la forme qu'il conviendrait de réaliser pour arriver à un résultat. En attendant, M. Love rapporte dans les termes suivants une première expérience déjà assez significative : « Sous l'extrémité de la machine électrique, nous avons collé un morceau de cire, dans lequel nous avons fiché verticalement une longue épingle terminée par une grosse tête. Cette épingle traverse une boule de sureau, de laquelle partent six fils de soie d'environ 10 centimètres de longueur, au bout desquels nous avons attaché des balles de sureau sensiblement de la même grosseur. Lorsque la machine électrique a été mise en mouvement, les balles se sont écartées les unes des autres en se disposant en cercle. Alors, introduisant au centre une bouteille de Leyde chargée, dans laquelle le crochet était remplacé par une boule en cuivre de 3 c. 1/2 de diamètre, l'écartement des balles a augmenté. En donnant à la position de cette bouteille une légère excentricité par rapport à l'épingle, et la plaçant sur le plateau d'un tour vertical en bois, auquel nous avons imprimé un mouvement lent de rotation, les six balles de sureau ont été entraînées dans le mouvement de la sphère centrale, autour de laquelle elles ont tourné avec une grande régularité. Les balles de sureau n'ont pas tourné sur elles-mêmes, et nous l'attribuons simplement à cette circonstance, que les fils de soie présentent une résistance à la torsion trop grande pour cela. Pour imiter *complétement le phénomène de la gravitation*, il faudrait couper les fils qui retiennent les balles; mais alors, il faudrait qu'elles ne puissent pas se précipiter sur les corps environnants à un état électrique inférieur; et, pour cela, il faudrait sans doute disposer, tout autour, comme cela se produit en réalité dans l'espace, un ensemble de sphères électrisées analogues à celle qui surmonte notre bouteille de Leyde. On voit, par là, ce que devrait être l'appareil pour que l'expérience eût quelque chance de réussir avec des balles libres. En tout cas, ce qui précède nous paraît suffisant pour confirmer le fait que nous avions fait pressentir, ou du moins lui donner un grand degré de probabilité, à savoir; que la gravitation est due aux atmosphères d'électricité qui entourent les globes célestes. Et, en résumé, nous tirons notre conviction des faits suivants : 1° de la présence de l'électricité en quantité croissante à mesure que l'on s'élève dans l'atmosphère, ce qui

autorise à penser que tous les corps d'un système planétaire se touchent par leurs atmosphères d'électricité; 2° des phénomènes de force que développe le fluide électrique, qui sont les plus grands que nous connaissions et qui revêtent un tel caractère, que nous concevons qu'il n'y a pas de limites aux effets qu'il est susceptible de produire par sa vitesse variable et sa densité; 3° du rapport des forces qui tiennent les globes éloignés les uns des autres, et que Newton a trouvé être en raison inverse du carré des distances; ce qui est exactement la loi trouvée par Coulomb dans les phénomènes d'attraction et de répulsion électriques; 4° enfin, du fait expérimental de balles de sureau soustraites en partie à la pesanteur, se tenant à distance et se mettant en mouvement sous l'action d'une sphère centrale électrisée. »

M. Love exprime le regret de n'avoir pu pousser ses expériences plus loin faute d'instruments; et d'être obligé, pour cette raison, de se borner à ce qui précède et de s'en tenir à ce qu'il a déjà dit sur les phénomènes de l'électricité à l'état dynamique. Il s'efforcera de combler les lacunes qu'il a été obligé de laisser, en saisissant la première occasion qui se présentera à lui d'entrer largement dans la voie de l'expérimentation. L'auteur se livre ensuite à l'examen *des combinaisons* dans lesquelles le fluide électrique est susceptible d'entrer avec les autres substances à la manière des gaz moins subtils.

« C'est la première fois, dit M. Love, que cette idée est exprimée d'une « manière aussi générale. Car l'*ozone* est le seul cas de combinaison qui « semble avoir eu le privilége d'attirer l'attention des savants d'une ma- « nière particulière, etc. Mais du moment qu'il est constaté, ainsi que nous « l'avons fait, que l'électricité est un gaz d'une nature particulière, à ranger, « comme certains autres, parmi les corps simples, on ne voit pas pourquoi « il échapperait à la règle générale; et l'on est en droit de supposer, « *a priori*, qu'il doit pouvoir entrer et entre en effet, en plus ou moins « grandes quantités, dans un grand nombre de combinaisons simples ou « complexes jouissant d'une fixité plus ou moins grande, *si ce n'est dans* « *toutes.* »

Pour se mettre à même de juger cette question, M. Love rappelle les signes auxquels on peut reconnaître qu'un gaz est combiné avec une autre substance et cite entre autres faits l'expérience de Davy, dans laquelle l'électricité passe tour à tour, combinée avec une base ou un acide, dans un verre contenant de l'eau colorée par le sirop de violettes, sans verdir ou rougir la liqueur. Il montre ensuite que l'électricité, dans les compositions ou décompositions chimiques auxquels elle prend part, se montre comme l'oxigène sous trois aspects :

1° Celui où les nouvelles combinaisons ou réactions auraient besoin pour s'effectuer d'emprunter aux corps environnants une quantité supplémentaire d'électricité, comme la combinaison représentée par l'oxyde de fer requiert et emprunte à l'air ou à l'eau une quantité supplémentaire d'oxigène pour passer à l'état de peroxide de fer;

2° Celui où les combinaisons ou réactions mettraient de l'électricité en

liberté de la même manière que le bioxide de manganèse en présence de l'acide sulfurique laisse échapper une partie de son oxigène ;

3° Enfin, celui où les nouvelles combinaisons s'effectueraient sans requérir un supplément d'électricité ou sans en dégager. Combinaisons analogues à celle que l'on observe entre une base et un acide et dans laquelle il entre la même quantité d'oxigène que dans les corps constituants.

Or, tout ceci est confirmé par l'expérience, ainsi que cela résulte des lois du dégagement ou de l'absorption de l'électricité dans les actions chimiques observées par M. Becquerel. « Lois également vraies dans notre système, » ajoute M. Love, « à la condition de supprimer la distinction faite par ce savant entre les électricités positive et négative pour la remplacer par un *partage inégal de la même électricité.* »

Pour M. Love les trois premières lois de M. Becquerel reviennent à dire : *que dans toute combinaison chimique il entre toujours une quantité supplémentaire d'électricité empruntée à l'un des deux corps en excès, qui reste en dehors de la combinaison en train de s'effectuer, et que cette quantité est d'autant plus grande que la combinaison est plus complexe.* Les deux autres lois du savant physicien, se traduisent ainsi :

Dans les décompositions, les effets électriques sont inverses des précédents, c'est-à-dire qu'il y a dégagement d'électricité qui se porte sur le corps qui la cède dans le cas précédent.

Dans les doubles décompositions, l'équilibre électrique des corps constituants ne requiert ni ne cède aucune quantité d'électricité.

Puisque, d'après une des lois qui précèdent, une base, un métal, un corps quelconque échappant à une combinaison, en sort dans un état électrique positif, c'est-à-dire chargé d'électricité libre et à l'état de tension, il s'en suit que, si l'on présente à ce fluide un corps conducteur convenablement disposé, il s'y accumulera et l'on aura ainsi un nouvel appareil producteur d'électricité, qui n'est autre que celui connu sous le nom de *pile électrique*. Le conducteur, dans ce cas, joue le rôle de la cloche sous laquelle on recevrait l'hydrogène ou l'oxigène échappant, comme l'électricité, à une combinaison dans laquelle ils étaient engagés. Ainsi dans la pile de Wollaston l'eau est décomposée, l'hydrogène est mis en liberté et cède l'électricité qui se dégage avec lui à l'élément cuivre-conducteur qui entoure le lieu où le dégagement s'effectue. On voit que dans ce système, contrairement à la théorie de la pile fondée sur les deux électricités, dont il ne peut plus être question, chaque *auge a un rôle actif* et produit son contingent d'électricité. L'écoulement s'effectue naturellement du côté de l'élément conducteur. Cette théorie explique d'une manière très-simple la différence des effets obtenus suivant que les couples sont joints les uns aux autres par des éléments semblables ou différents.

Ayant ainsi rendu compte des circonstances dans lesquelles un courant électrique se produit et peut être recueilli, l'auteur examine quelle peut être l'action d'un tel courant sur des corps composés en dissolution.

A l'exception des doubles décompositions où des substances composées

en quantités équivalentes mises en présence se transforment en d'autres d'un caractère plus stable, les actions chimiques résultent toujours de la présence en quantité suffisante d'un agent prédominant sous le rapport de la force qu'il semble recéler et par suite de la perturbation qu'il peut apporter dans les combinaisons existantes. On connaît l'action de l'acide sulfurique sur le zinc et l'eau à la température ordinaire. L'oxigène aussi mis en quantité suffisante en présence du sulfure de carbone à une certaine température sépare ce composé en ses deux éléments *soufre* et *carbone*, et se combine séparément avec les deux pour former de l'acide sulfureux et de l'acide carbonique. De là, il n'y a qu'un pas à se demander si l'électricité, à son tour, considérée comme un corps simple, introduite en abondance dans un liquide ne se comporterait pas à la manière de l'oxigène; c'est-à-dire ne décomposerait pas le corps en ses éléments pour se combiner séparément avec chacun d'eux, ne fût-ce que pendant un temps très-court. L'expérience de Davy déjà citée donne à la fois un exemple de cette faculté de décomposition et de combinaison. M. Love arrive ainsi à confirmer le parti que l'on peut tirer et que l'on tire en réalité de l'électricité de la pile dans les opérations chimiques.

Après avoir expliqué le fait, étrange en apparence, de la décomposition et du transport des éléments du corps décomposé dans l'expérience en question, soit que l'électricité entre par le verre renfermant le corps en dissolution ou par le côté opposé, M. Love se demande si ces phénomènes de *force perturbatrice* produits par l'acide sulfurique, l'oxigène, l'électricité, etc., sont dus à ces substances elles-mêmes : ou bien si ces corps ne sont que les véhicules plus ou moins favorables à l'accumulation d'un principe spécial dans lequel réside la *force* qui se manifeste dans les actions chimiques et ailleurs. L'auteur ne fait ici que poser la question en annonçant qu'elle se reproduira dans le cours de son travail et qu'il espère y apporter quelque éclaircissement; il s'occupe en attendant de rechercher si les données scientifiques que l'on possède aujourd'hui permettent d'assigner à l'électricité un rôle quelconque dans les corps organisés et chez l'animal en particulier.

Il rappelle, à ce sujet, que nos tissus ainsi que tous les corps, outre leur électricité de combinaison, renferment une certaine quantité d'électricité à l'état libre. Le fait a d'ailleurs été constaté expérimentalement par M. Dubois-Raymond, au moyen d'un galvanomètre d'une sensibilité toute particulière. D'un autre côté, M. le docteur Duchenne (de Boulogne) a fait voir qu'une accumulation d'électricité dans un muscle quelconque produisait tous les mouvements que nous effectuons, d'habitude, par l'intervention de la volonté. Il obtient ainsi le mouvement de tous les organes de relation et celui des muscles de la face d'où résultent les expressions si variées de la joie, de la douleur, de la surprise, de la méchanceté, etc. Or, fait remarquer M. Love, « du moment qu'il est constaté d'une part que nous recélons en nous une certaine quantité d'électricité libre; d'autre part, qu'une accumulation d'électricité imprime la contraction à nos muscles et par suite le mouvement aux organes qui en dépendent; il est assez clair que nos

mouvements volontaires et naturels sont dus aussi à une concentration dans le point voulu d'une certaine quantité d'électricité libre. Et la seule chose qui reste à établir par expérience, c'est que l'acte de *la volonté*, quel que soit d'ailleurs le moyen par lequel elle agit sur le fluide, peut le forcer à se concentrer dans un muscle déterminé. »

Les expériences du genre de celles de M. Dubois-Raymond nous éclaireront directement sur ce sujet, lorsqu'on aura trouvé les conditions dans lesquelles elles doivent être faites pour donner des résultats plus marqués, plus décisifs et capables d'indiquer l'influence de la volonté sur l'électricité et la direction du courant. M. Love fait ici la critique du mode d'expérimenter de M. Dubois-Raymond, et indique dans quel sens les expériences doivent être faites, selon lui, pour avoir toutes chances d'être concluantes. En attendant, il supplée à ces expériences en citant les exemples du gymnote et de la torpille qui dirigent *à leur volonté et dans tous les sens le courant électrique dont ils disposent*. Et il considère ces faits comme établissant suffisamment la preuve que chez l'homme, comme chez tous les animaux, le même phénomène se produit, quoique d'une manière moins exagérée et moins apparente; et que par conséquent on peut dire, en général, que nos mouvements musculaires sont dus à notre électricité libre et que cette électricité se meut, agit ou peut agir sous l'influence de la volonté.

L'auteur passe ensuite à l'examen de l'électricité eu égard au rôle ordinaire ou exceptionnel qu'elle remplit dans les phénomènes si variés de la force dont nous sommes témoins tous les jours. Qu'est-ce que la Force? Y en a-t-il plusieurs ou n'y en a-t-il qu'une seule dont les effets varient à l'infini suivant les circonstances? L'auteur répond : « La Force que nous ne connaissons aujourd'hui encore que par ses effets peut se définir en disant que c'est tout ce *qui produit, accélère et transforme le mouvement*. Ajoutons que nous ne pouvons séparer l'idée de *force* de celle d'une masse en mouvement et de la direction dans laquelle ce mouvement s'effectue. Or, un mouvement pouvant avoir lieu dans mille directions différentes, le fait d'une masse inerte cheminant dans un sens déterminé semble ne pouvoir être séparé non plus de l'idée du *discernement, du choix* et par suite de l'*intelligence* et de la *volonté;* attributs importants qui ne peuvent exister, sans qu'il y ait quelque part, présidant au phénomène, une entité particulière à laquelle ces attributs appartiennent....

« Nous connaissons encore la force par les véhicules au moyen desquels elle se transmet : L'*eau*, la *vapeur*, l'*air*, *un gaz*, *un solide quelconque*, peuvent être les véhicules de la force dans des circonstances déterminées. L'électricité l'est également, et c'est même au moyen de ce fluide qu'elle se révèle au plus haut degré. Mais cet agent extraordinaire est-il le véhicule de la force au même titre que les autres corps? Si différent des autres en tant de points, ne l'est-il pas encore en celui-ci? Si, en effet, nous avons constaté que le fluide électrique présente des caractères qui nous autorisent suffisamment à l'ajouter à la liste des corps simples; il se distingue de ceux-ci par certaines particularités, ne serait-ce que par

son rôle dans l'organisme des êtres animés, son intervention dans toutes nos sensations qui en font une entité à part, qui semble être l'expression la plus élevée de la matière inerte et le premier terme d'une série d'entités invisibles comme elle, possédant quelque chose de plus que les propriétés générales ou particulières de la matière que nous connaissons.

« Ainsi, par exemple, il paraît assez clair qu'elle n'est pas subjuguée par l'*inertie* au même degré absolu. Car, si elle est mise en mouvement dans un grand nombre de cas, dans la plupart si l'on veut, par les mêmes causes que les autres corps, comme la pression, le choc, le frottement, il y en a aussi où une impulsion matérielle semble complétement absente; où l'électricité est mise en mouvement par le même procédé qui fait qu'un homme se meut sous l'empire de la volonté d'un autre. » M. Love rappelle l'exemple des poissons électriques et celui de nos mouvements volontaires qui, selon lui, confirment cette manière de voir. Puis, développant longuement cette thèse, il arrive à cette conclusion, que la force a nécessairement pour origine une entité matérielle quoique invisible, douée d'intelligence et de volonté, capable de recevoir le mouvement comme de se l'imprimer à elle-même et de le communiquer. — L'électricité est l'une de ces entités. — Il invoque un certain nombre de faits à l'appui de cette induction (1), et appelle ce fluide considéré atomiquement : *La force élémentaire intelligente.*

Arrivé à ce point de son travail, l'auteur récapitule tous les exemples connus de mouvement ou, si l'on veut, des phénomènes de force, pour voir s'il en est qui échappent à l'agent extraordinaire qu'il vient de définir ainsi qu'on l'a vu. Il en constate la présence dans les sensations, dans les mouvements apparents des organes de relation, il l'indique comme plus que probable dans les mouvements intimes des organes de nutrition. Il préside aux actions chimiques. Il est la cause de la gravitation, il doit l'être des affinités chimiques, de la cohésion, de la pesanteur. « Tous ces effets mécaniques si divers, dit-il, ne sont-ils pas compris entre ces deux modes d'action extrêmes du fluide : 1° action atomique individuelle de l'agent sur l'atome matériel; 2° action par masses du même fluide sur des corps de dimensions variées. Si à la masse du fluide variant dans de telles limites on ajoute les vitesses non moins variables qu'il peut prendre, et les sens divers dans lesquels il peut agir d'après des circonstances et des lois déterminées, n'est-il pas évident qu'il peut produire, à lui seul, tous les exemples de force, depuis l'infiniment petit jusqu'à l'infiniment grand, bref tous les phénomènes naturels connus ou inconnus ?... »

« On comprend, dès-lors, facilement comment il se fait que les divers phénomènes observés en physique aient un certain nombre de caractères communs et naissent pour ainsi dire les uns des autres, sans qu'il y ait, en apparence, un ordre obligé dans la succession des uns aux autres. Où

(1) Entre autres, ce qui se passe dans les réactions chimiques dans lesquelles les molécules se *séparent*, *se cherchent*, *se meuvent et s'unissent* pour former de nouvelles combinaisons

M. Grove, dans son ouvrage sur la corrélation des *forces* physiques, qui résume les tendances actuelles des physiciens, a vu des forces différentes, ce qu'il appelle des affections de la matière qu'il dit être connues sous les noms de *chaleur*, *lumière*, *électricité*, etc., nous nous croyons autorisé, par la démonstration qui précède, à ne voir qu'une seule force atomique, intelligente et subordonnée, qui n'est autre que le fluide électrique, et des transformations de mouvement, variables à l'infini, de cet agent, suivant des modifications qu'il s'imprime à lui-même ou qu'il reçoit de sa rencontre avec des corps inertes et qui se traduisent à nos sens et à notre esprit par *le mouvement des solides, le son, l'odeur, la saveur, la chaleur, la lumière, l'électricité, le magnétisme, l'attraction ou répulsion moléculaire, l'attraction ou répulsion planétaire.* » M. Love rappelle pour terminer quelques exemples de ces transformations, où la trace du fluide se suit plus facilement. Dans l'un d'eux, il s'exprime dans les termes suivants :

« Nous voyons tous les jours l'électricité, mise en liberté par la combustion du charbon, traverser un vase en métal contenant de l'eau et l'échauffer, c'est-à-dire la constituer à cet état vibratoire moléculaire qui n'est perceptible à l'œil que par la dilatation. Au bout d'un certain temps, avant que l'eau commence à se résoudre en vapeur, avant que l'on puisse y reconnaître un mouvement apparent, le liquide fait entendre un son ou plutôt ce chant particulier si connu des ménagères qui, pour nous, est un signe indubitable de la présence de l'électricité. Mais à peine cette phase du mouvement vibratoire intime est-elle accomplie, que le mouvement apparent de translation de la masse liquide se manifeste tumultueusement. L'électricité s'alliant, pour nous, à l'eau comme elle le fait à l'oxigène pour former l'ozone, l'emporte à l'état de vapeur. Mais si elle est dans une chaudière fermée où ce *composé hydro-électrique* puisse s'accumuler, on pourra utiliser le mouvement qu'il recèle en le transformant de nouveau, en le faisant passer de l'eau à un corps pondérable plus dense, comme les organes métalliques d'une machine à vapeur. » Après quelques réflexions sur la rationnalité de ce système, l'auteur ajoute : « la preuve d'ailleurs que tous ces phénomènes ne sont que des transformations de mouvements vibratoires ou de translation de l'électricité dues aux modificateurs liquides ou solides dans lesquels l'agent s'incorpore successivement, preuve que nous avons fournie, en détail, dans le cours de cet essai, c'est qu'en chaque point de la série des faits que nous venons de retracer sommairement on peut dégager l'électricité, l'exprimer pour ainsi dire comme l'eau d'une éponge et la faire apparaître sous la forme où l'on est plus habitué à reconnaître son identité, celle où sa présence est accusée par des appareils spéciaux comme l'électromètre et le galvanomètre.

« Ne l'a-t-on pas reconnu dans la combustion au moyen de l'électromètre condensateur? Ne la retrouve-t-on pas dans le métal auquel les gaz du charbon en cèdent une partie, pourvu que l'on ait eu la précaution d'opposer un obstacle au mouvement du fluide, de manière à le faire apparaître au galvanomètre sous la forme de *courant thermo-électrique?* Quand le métal l'a cédée à l'eau et que celle-ci est transformée en vapeur, *qui est a*

nos yeux une combinaison analogue à l'ozone, cette combinaison à la rencontre d'un obstacle, en se décomposant ou se condensant, ce qui est la même chose, ne cède-t-elle pas son électricité à un conducteur, de manière à fournir des étincelles, ainsi que cela se démontre au moyen de la machine hydro-électrique d'Armstrong? Si de là nous passons à un organe solide de la machine à vapeur et que nous résolvions son mouvement en un frottement sur une surface appropriée, ne voyons-nous pas de nouveau l'électricité apparaître et sortir à l'état de tension? »

L'auteur cite d'autres exemples de transformation de mouvement du fluide dont quelques-uns sont empruntés à l'ouvrage de M. Grove. Il rappelle l'opinion d'Œrsted sur certains points de la question qui, à part l'hypothèse de l'éther, est conforme à la sienne, et termine son travail en le résumant de la manière suivante :

« *La matière* est multiple, inerte et incohérente par elle-même. Elle « est incréée et indestructible. Elle est mue dans ses transformations, elle « est maintenue dans ses combinaisons par une force atomique, intelligente « et universelle, agent matériel qui s'y combine ou la décompose suivant « les circonstances et conformément à des lois invariables ***que le principal objet de la science*** est de découvrir et de formuler.

« Cet agent est l'*Electricité*. Ce fluide considéré atomiquement est, « s'il nous est permis de nous servir de cette expression, l'*âme de la* « *matière inerte*. Considéré en masses par rapport aux corps planétai- « res et à ceux qui gisent à leur surface, il est la cause de la pesanteur « et de la gravitation.

« Comme toute autre substance matérielle, l'*Electricité* reçoit le mou- « vement d'autres corps qui en sont doués et le communique à son tour. « Mais elle en diffère en ce point important, qu'elle peut aussi se l'impri- « mer à elle-même, soit en obéissant à certaines lois tracées à l'avance « comme celles qui règlent les actions chimiques ou les actes intimes de « l'organisme animal ou végétal; soit en subissant l'empire de la volonté « des êtres dont elle pénètre les tissus.

« *L'Electricité*, qui est ainsi le moteur auquel sont dus les mouvements « conscients ou inconscients, apparents ou intimes des corps organisés, « est aussi et tout naturellement l'intermédiaire par le moyen duquel ces « corps sont mis en rapport avec le monde extérieur. Elle est l'agent « d'où dérivent toutes nos sensations, qui ne sont autres que le résultat « des actions mécaniques d'un ordre différent s'adressant à des appareils « spéciaux préparés pour les recevoir.

« Cette variété d'effets est due, à la fois, à la nature particulière du fluide « qui lui permet d'entrer en rapport avec l'*Entité* en laquelle réside la « volonté, à sa densité infiniment petite, à la variété infinie de vitesses qu'il « peut prendre; ce qui le rend capable de tous les effets mécaniques possi- « bles compris entre l'infiniment petit et l'infiniment grand.

« Ces effets en ce qui concerne les sensations sont dus au mode particu- « lier du mouvement appelé *Vibrations*.

« Toutes les fois que *l'Electricité* vibre, il s'établit une certaine relation

« entre le nombre de ses variations et leur amplitude; cette relation est « exprimée par une courbe hyperbolique rapportée à ses asymptotes dont le « produit des coordonnées à la première puissance est variable. Ce produit « est la vitesse de transmission de l'électricité particulière à une certaine « série de phénomènes spéciaux qui se transmettent, suivant le cas, à l'un « ou à l'autre de nos cinq sens.

« Lorsque le nombre de vibrations varie de 40 à 40,000 environ et la « vitesse de transmission de 340 mètres par seconde à 3 ou 4,000 peut-« être, l'impression qui nous est apportée est celle du *son*. La vitesse « constante du son, quel que soit le ton, le timbre et l'intensité, admise encore « par la majeure partie des physiciens n'est pas vraie d'une manière abso-« lue. Toutefois dans certaines limites, et nous avons expliqué comment, « on obtient des vitesses assez peu différentes pour réaliser, entre divers « instruments, l'effet appelé *Harmonie*.

« Lorsque le nombre de vibrations atteint plusieurs milliers de milliards, « et la vitesse de transmission trois à quatre cent millions de mètres par « seconde, la sensation que nous éprouvons est celle de la lumière blan-« che et de chaleur tout à la fois.

« Le nombre de vibrations diminuant, nous recevons les sensations des « lumières blanches ou colorées de diverses intensités et de chaleur dimi-« nuant progressivement.

« Les nombres de vibrations immédiatement inférieurs aux précédents « sont ceux de la chaleur émise par les corps qui n'ont plus pour l'organe « de la vision l'apparence lumineuse.

« Entre les sensations que nous recevons de l'électricité vibrant avec les « vitesses appartenant aux derniers degrés perceptibles de chaleur et celles « des sons les plus aigus que nous puissions percevoir et au dessous des « sons les plus graves, il y a une grande variété de vibrations de cet agent, « qui apportent à nos autres organes les sensations du toucher et celles si « multipliées du goût et de l'odorat.

« On peut appeler la courbe qui exprime la loi qui régit les phénomènes « remarquables qui viennent d'être retracés la *courbe des vibrations élec-« triques*. »

« Mais *l'Electricité*, à part des entités de même nature mais d'un ordre supérieur dont il sera question dans la dernière partie de notre travail (1), constituant un ensemble infini de forces ou agents moléculaires doués, dans une certaine mesure, d'intelligence et de volonté, capables de produire et produisant en réalité des effets infinis en nombre et en grandeur, ne saurait arriver à l'harmonie sans lois tracées d'avance et maintenues par une volonté supérieure et unique. Or, cette harmonie et ces lois existant, il y a une volonté, une intelligence supérieure, qui président à tout. Il y a une

(1) Cette partie ayant trait à la physiologie ne pourra être lue au sein de la Société des Ingénieurs civils, elle sera imprimee à la suite des trois communications dont la Société a rendu compte et dont l'auteur se propose de former un volume.

Entité à laquelle cette volonté et cette intelligence appartiennent... IL Y A UN DIEU...

M. le Président remercie M. Love de son intéressante communication.

MM. Le Brun et Périssé ont été reçus membres de la Société.

SÉANCE DU 7 SEPTEMBRE 1860

Presidence de M. Vuigner.

M. le Président annonce que MM. Marié, de Fontenay, Guillon, Paul Garnier et Castor, membres de la Société, viennent d'être nommés chevaliers de la Légion-d'Honneur.

M. Love adresse un pli cacheté contenant le résumé du dernier chapitre de son travail, sur l'*identité des agents qui produisent le son, la chaleur*, etc., en demandant que ce dépôt soit constaté au procès-verbal.

M. Gaudry lit une note sur le bâtiment à vapeur l'*Adriatic;* cette note est insérée dans le présent bulletin.

M. Emile Fortin-Herrmann, en son nom et au nom de M. Ad. Fortin-Herrmann, son frère, donne lecture d'une note dans laquelle sont décrits les procédés et appareils qu'ils ont imaginés en 1854 pour les *fondations tubulaires*, procédés qui comportent l'application de la presse hydraulique et de l'eau comme lest, pour obtenir, avec l'emploi de l'air comprimé, l'enfoncement des tubes de fondation dans le sol.

Ces Messieurs font observer qu'ils ont rédigé cette note en 1854, à l'appui de l'étude exposée par eux et M. Nepveu en 1855, étude qui a été l'objet d'un rapport favorable de M. de la Gournerie, membre du Jury international. La communication qu'ils en donnent aujourd'hui a pour but de faire connaître à la Société les dispositions auxquelles ils s'étaient arrêtés à cette époque et les études qui les avaient conduits à proposer l'emploi de la presse hydraulique. MM. Fortin annoncent que cette application de la presse vient d'être faite avec plein succès aux fondations du pont métallique de Bordeaux, qui a été exécuté pour les C^ies des chemins de fer du Midi et d'Orléans, par la C^ie générale de matériels de chemins de fer, et dont les fontes et les presses hydrauliques ont été fournies par l'usine de Mazières. La C^ie générale de matériels avait déjà employé le procédé pour les fondations des piliers tubulaires du pont de Lora sur le chemin de Séville à Cordoue.

MM. Fortin ajoutent que Messieurs Parmentier et Guibal ont employé postérieurement à l'exposition de 1855 la presse hydraulique pour foncer l'avaleresse de Saint Waast en Belgique, travail sur lequel notre Société doit un intéressant mémoire à M. Ch. Laurent (1^er Trimestre 1859).

Le système, dont les dessins ont été exposés en 1855, est destiné à la fondation des piles à 3 ou à 6 piliers ainsi qu'à celle des culées et travaux de rive. Il permet de travailler jusqu'à une profondeur de $21^m,00$ au-dessous du niveau de l'eau et de fonder à la fois 3 piliers de $3^m,00$. L'ensemble de l'appareil se compose de quatre bateaux en tôle partagés en deux étages. L'étage supérieur est divisé en 3 réservoirs destinés à être remplis d'eau pour former le lest variable nécessaire à l'enfoncement des puits. L'étage inférieur sert à assurer la flottaison des bateaux chargés à leur ***maximum***, avec le lest.

Ces bateaux sont reliés entre eux, tout en laissant au milieu un espace libre pour le travail des puits.

Au-dessus de cet espace s'élève un système de charpente faisant corps avec le ponton. Cette charpente constitue trois travées, entre lesquelles s'effectuent les manœuvres de chacun des puits.

Les manœuvres ont lieu au moyen de forts treuils mobiles sur des chemins de fer établis sur la charpente à $7^m,00$ au-dessus du pont ; il y a deux treuils par puits ; l'un sert à déplacer les têtes de puits et l'autre à ajouter les cylindres à mesure du foncement; ils servent, en outre, à l'enlèvement des matériaux d'excavation et aux manœuvres accessoires.

Enfin, sur l'un des bateaux, qui ne contient que deux réservoirs et qui porte un avant de $4^m,00$ pour faciliter sa marche comme remorqueur, sont installées deux machines et leurs chaudières de 20 chevaux chacune, destinées :

1° A comprimer l'air dans les puits pour en chasser l'eau et entretenir la respiration des ouvriers ;

2° A fournir l'eau des réservoirs suivant les besoins du lest, soit par des pompes spéciales ou par l'eau de condensation des machines ;

3° A refouler l'eau des presses hydrauliques destinées à l'enfoncement des puits au fur et à mesure de l'excavation du sol ;

4° A remorquer le train des bateaux composant l'appareil, lorsque ce dernier étant démonté doit être transporté sur l'emplacement d'une nouvelle fondation.

Dans l'espace libre du ponton sont placées pendant le travail les cloches ou têtes de puits écartées d'un mètre entre elles. Chaque tête de puits est armée de deux puissantes presses hydrauliques faisant corps avec la paroi verticale de la cloche aux extrémités d'un diamètre perpendiculaire au sas à air et à la chambre d'extraction. Ces presses de $3^m,00$ de course, dont le plongeur creux à $0^m,25$ de diamètre sont projetées pour fonctionner sous la pression de 216 atmosphères. Les corps de pompes descendent avec la cloche, et les plongeurs reçoivent le tuyau par lequel l'eau des pompes est injectée dans le corps de presse. Les plongeurs sont liés à leur sommet par une poutre transversalle allant d'une presse à l'autre et qui, en s'appuyant sous les moises de la charpente au-dessous des voies de fer, tend à soulever tout le système de la charpente et des bateaux, dont le poids total avec lest pour des puits atteignant 21 mètres de profondeur est de 821 tonnes.

L'eau d'injection est amenée par un tubage en cuivre épais étiré sans soudure, venant des pompes des machines et embranché sur la charpente de manière à aboutir à toutes les positions que la cloche peut occuper sur cette dernière.

La disposition du tube d'injection d'eau dans les presses hydrauliques et du tube d'injection d'air dans les cloches est telle que la pression de l'air dans les trois cloches, et celle de l'eau dans les six presses hydrauliques sont uniformes, et que, dès-lors, le soulèvement, le relèvement et l'enfoncement des puits en vue de leur direction peuvent toujours être réglés par l'action des presses qu'on peut faire varier à volonté, de sorte que les chances d'accidents sont très-réduites par la suppression facile et instantanée du lest et de l'injection de l'air dans les puits.

MM. Fortin-Herrmann indiquent les circonstances de l'étude qui les a conduits à l'emploi de la presse hydraulique et de l'eau comme lest. Ils disent que l'eau comme moyen d'immersion de cloches à plongeur remonte à Coulomb et qu'elle a été employée en effet dans plusieurs appareils ; dans le bateau plongeur du Croisic et dans la cloche à plongeur du docteur Payerne au port de Cherbourg. Ce que MM. Fortin considèrent comme nouveau c'est emploi de l'eau comme lest au-dessus du niveau de l'eau dans laquelle s'exécute le travail ; pour eux, l'eau est destinée à remplacer avec avantage les matériaux qui dans le bateau du Croisic, ou dans le contre-poids de Rochester, avaient pour effet de s'opposer au soulèvement de la cloche, ou du puits, sous l'influence de l'air comprimé. Dans leur système d'appareils flottables, conçu pour être transporté par les rivières et les canaux d'un chantier sur un autre, avec tous leurs moyens d'action, l'eau offre, comme lest, les avantages des matériaux ordinairement utilisés, mais leur est supérieure en ce sens qu'on n'a pas à s'en embarrasser dans les transports.

Dans leur notice, MM. Fortin ne parlent que des cylindres de puits en bois, formés de douvelles en chêne, cerclés et boulonnés intérieurement sur leur hauteur, goudronnés et calfatés, réunis les uns aux autres par de fortes cornières avec boulons. Ils les croient d'une application très-pratique, moins chers et plus faciles à se procurer partout que les cylindres en tôle et en fonte ; ils pensent que l'enveloppe de la pile ne peut être considérée comme base de fondation et qu'elle n'est conséquemment qu'un moyen de transition entre la recherche du sol incompressible et la construction en maçonnerie de l'intérieur des puits, devant constituer le soutien indéfiniment durable de l'ouvrage.

Revenant sur l'application de la presse hydraulique, MM. Fortin s'expriment ainsi : « L'ensemble de l'appareil à trois puits avec bateaux et lest « pour le fonçage à $21^m,00$ nous donnait 812300 k. ; il s'agissait de « soulever cette masse pour la mettre en fonction sur les puits soit par « des chaînes ou par des vis.

« Les inconvénients des chaînes étaient insurmontables ; chaque puits « exigeait 4 énormes chaînes avec treuils dont les maillons calculés à « 20 k. de résistance à la traction par millimètre de section n'auraient pas « eu moins de $0^m,037$ de diamètre.

« Le très-grand diamètre des vis, leur nombre sur chaque puits, leur « course de 3 mètres et les difficultés des manœuvres étaient d'une appli- « cation également impraticable.

« C'est alors qu'exclusivement préoccupés de cette difficulté nous pen- « sâmes mon frère et moi, en nous reportant à la solution élégante de Ste- « phenson pour le levage et la mise en place des grandes travées de 140 « mètres du pont Britannia, à utiliser la presse hydraulique pour pro- « duire l'effet inverse, c'est-à-dire l'enfoncement de nos piles tubulai- « res, usage auquel la presse hydraulique n'avait pas été employée jus- « que alors.

MM. Fortin décrivent les diverses parties de l'appareil, les bateaux réservoirs, le bateau des machines, la charpente, les treuils à charriot, les treuils des bateaux, les cylindres en bois des puits, les cloches ou têtes de puits, comprenant chambre d'extraction, sas à air, galerie et plateforme de manœuvre, conduite d'air comprimé et tube à pompe sur les cloches, presses hydrauliques et siphon, puis la distribution de l'eau dans les réservoirs contrepoids. Abordant ensuite l'étude des machines sur laquelle MM. Fortin se proposent d'appeler ultérieurement l'attention de la Société comme présentant des améliorations précieuses pour les travaux de fondations: « Le système d'éclusage et de construction des cylindres de puits « adopté ici, disent-ils, nécessite l'expulsion de l'eau à chaque addition « d'un nouveau cylindre, c'est-à-dire tous les 3 mètres d'enfoncement; « c'est un temps perdu pendant lequel les ouvriers doivent attendre la « reprise du travail, mais auquel dans l'état de cette étude nous ne cher- « chons pas à apporter remède, autrement qu'en le rendant le plus court « possible. Dans ce but, nous nous proposons d'épuiser l'eau des trois puits « en 1 heure, lorsqu'ils auront atteint 21 mètres de profondeur.

« En outre, la condition de remorquer à petite vitesse, d'une rivière à « une autre, par les machines mêmes, les bateaux chargés des diverses « parties de l'appareil, se trouve remplie, en employant une force propul- « sive de 40 chevaux.

« Dans ces prévisions deux machines de 20 chevaux chacune sont ins- « tallées à l'arrière du bateau qui leur est affecté. Elles peuvent marcher « recouplées ou isolées, en avant et en arrière, elles fonctionnent à 2 « atmosphères de pression avec détente variable et condensation. Les ma- « chines sont à balancier et comprennent une pompe à comprimer l'air à « double effet. Les cylindres à vapeur et à air comprimé sont situés aux « extrémités d'un grand balancier à jumelles qui leur est supérieur. »

Le cylindre moteur est entouré d'une enveloppe en tôle, dans laquelle s'échappe la vapeur avant de se rendre au condenseur situé au-dessous. Une enveloppe semblable forme le réfrigérant du cylindre à comprimer l'air, au moyen de l'eau froide qui y circule avant d'aller au condenseur. — Un balancier en tôle à deux jumelles, placé sur la plaque de fondation, transmet le mouvement du balancier supérieur par deux bielles au volant qui occupe le milieu de la machine. Les parallélogrammes sont remplacés par des glissières sur le côté desquelles passent les joues du grand balancier et

dont les guides sont fixés sur le couvercle des cylindres à vapeur et à comprimer l'air.

MM. Fortin décrivent toutes les parties des machines en indiquant leurs dimensions. « La distribution et la détente de la vapeur au 1/10 « sont obtenues par un seul tiroir. Un pendule cônique donne le mouve- « ment variable par l'intermédiaire d'une vis à deux points de touche à « galet qui se promènent sur un excentrique à came hélicoïde situé sur « l'arbre du volant. L'ouverture et la fermeture des papillons ou disques « horizontaux à centre, qui remplacent les soupapes dans la pompe de « compression, situés sur les couvercles supérieurs et inférieurs du cy- « lindre, ont lieu mécaniquement, à des instants variables au moyen de « deux excentriques helicoïdes semblables à celui de la détente et de la « distribution du cylindre moteur; une vis, qui déplace ces excentriques « sur les touches du levier de communication aux papillons, reçoit son « mouvement par la descente des puits; de sorte que l'ouverture des pa- « pillons a toujours lieu à l'instant où la pression de l'air, dans le corps de « pompe, est la même que dans tous les puits. Il résulte cet avantage du fonc- « tionnement mécanique des soupapes, qu'on n'a pas à vaincre l'inertie des « soupapes d'émission ordinaires qui, ayant leur plus petite surface du côté « du piston, exigent toujours une pression proportionnellement plus « grande pour s'ouvrir seules; leur fermeture hermétique d'ailleurs est « difficile et n'est pas instantanée, de là des pertes d'air et de force mo- « trice très-appréciables. »

MM. Fortin-Herrmann ajoutent que le fonctionnement mécanique des soupapes d'émission dans les pompes de compression a été réalisé par eux en 1844 et appliqué au gaz d'éclairage sur une machine à deux cylindres de $0^m,130$ de diamètre et $0^m,350$ de course, fonctionnant à 12 atmosphères et que cette machine fait partie d'une étude et d'un ensemble d'appareils présentés par eux à l'Académie des sciences en 1849.

« La pompe d'alimentation et une pompe à eau pour les presses hy- « drauliques sont etablies sur la plaque de fondation en regard de la pompe « à air du côté du cylindre de compression; elles reçoivent leur mouve- « ment du balancier inférieur. Chaque pompe des presses hydrauliques de- « mande 69, 5 kilogramètres de travail moteur, en supposant le fonçage « régulier des trois puits de 3 mètres par 24 heures.

« Les volants des deux machines portent des alluchons engrenant à vo- « lonté avec des roues trois fois plus petites fixées sur un arbre trans- « versal au bateau. Cet arbre porte en son milieu une roue d'angle qui « transmet le mouvement à l'arbre d'une hélice en fonte de $1^m,10$ de « diamètre.

« Lorsque les machines doivent faire mouvoir l'hélice, on dételle les « bielles qui réunissent les tiges de piston des pompes de compression avec « les balanciers supérieurs. Elles transmettent alors leur mouvement à « l'hélice par les volants à alluchons.

« Les chaudières occupent la cale sur le même plan que les machines. « Elles sont cylindriques avec foyer et bouilleurs intérieurs. Des cylindres

« réchauffeurs forment les séparations des carneaux, sous l'enveloppe.

« Les soutes à charbon sont formées par l'espace compris entre les pa- « rois du bateau et celles des chaudières, au-dessous des réservoirs. Elles « peuvent contenir 18 tonnaux ou 10 à 12 jours d'approvisionnement de « combustible. »

MM. Fortin-Herrmann décrivent ensuite le montage de l'appareil sur l'emplacement de la fondation d'un pont, ses manœuvres, puis l'enfoncement des puits par les presses hydrauliques : « Les puits, outre leur propre « poids, sont sollicités à pénétrer dans le sol par celui de tout l'appareil, « dont le poids est transmis par les presses hydrauliques qui, fixées aux « cloches, cherchent à soulever le système de charpente et de bateaux « et le soulèvent en effet de toute la hauteur dont s'enfoncent les puits.

« Au fur et à mesure de la pénétration des puits, le frottement de leur « paroi augmente nécessairement et, quoique des expériences n'aient point « encore déterminé sa valeur pour les divers terrains qu'on peut rencontrer, « il est sans doute assez considérable pour qu'à 21 mètres au-dessous de « l'eau, et avec les moyens énergiques dont l'appareil dispose, on considère « la base de fondation assurée. Voici les charges affectées à vaincre le « frottement :

« Au commencement du travail, l'appareil pèse sans lest avec trois cy- « lindres en chêne 300,200 k.; à $10^{m},50$ de profondeur avec les puits il « pèse 345,900 k.; la résistance de l'eau étant de 263,400 k. on a encore « 82,500 k. pour surmonter les frottements sans avoir recours au lest; « enfin, à 21 mètres avec tout le lest, on a :

« Poids de l'appareil, bateau, charpente, « cloches, etc.	280,200 k.	812,700 k.
« Poids des puits en chêne et fer. . .	111,400 k.	
« Poids maximum du lest en eau. . .	421,100 k.	
« La résistance de l'eau à deux atmos- « phères ou 21 mètres est . . .		526,600 k.
« Et la différence en faveur de l'appareil « est de.		285,800 k.

« dont on dispose pour vaincre à cette profondeur le frottement des parois « sur la surface latérale des trois puits de 558 mètres carrés ou 0 k. 051 « par centimètre carré pendant les derniers moments du fonçage.

« Après avoir laissé échapper l'air comprimé et quand l'eau est rentrée « dans les puits *par le siphon, c'est-à-dire par la partie supérieure « du puits et non par le bas*, avant que d'enlever les cloches pour « ajouter des cylindres ou de passer à la fondation d'une autre pile, « on peut, en continuant de faire fonctionner les presses hydrauliques, les « soumettre à la pression d'une charge plus considérable, celle de tout « l'appareil; c'est-à-dire, exercer sur eux une pression de 812,700 k. « Les puits supportent alors cette charge comme pilotis et la surface tran- « chante de leur sabot étant de $4^{mc},4532$, ils tendent à s'enfoncer sous « une pression de 18 k. 2 par centimètre.

« Dans ces conditions la charge de la surface totale des trois puits sur « le sol à 21m de profondeur, compris les enveloppes de 25mc,6590, « serait de 10 k. 9 par centimètre carré, la superstructure du pont « entre deux demi-arches étant de 1,500,000 k., le poids des 541 mètres « cubes de béton ou de maçonnerie des piliers de 1,190,200 k., et celui des « puits en chêne de 111,400 k., ensemble 2,801,600 kilogrammes.

« Si l'on néglige la surface des puits pour ne considérer que celle de la « maçonnerie, qui est de 21mc 2058, on voit que la charge par centi- « mètre carré ne dépasse point 13 k. 22 pour la même construction de « 2,801,600 k.

« En dernière supposition, et si l'on imagine que la fondation soit faite « dans un terrain tellement compressible et affouillable que les puits déjà « engagés dans le sol de 21 mètres continuent à descendre sous la charge « des 812,700 kilogrammes de l'appareil, il serait encore facile de battre au « fond des puits des pieux de 10 et 15 mètres au moyen de sonnettes ordinai- « res ou à vapeur. Les considérations qui précèdent semblent prouver que « généralement un pont pourrait être fondé sur des piles à trois piliers de « 3 mètres, car on aura rarement à descendre aussi profondément dans le « sol pour trouver le rocher ou un terrain incompressible; et moins la fon- « dation aura de hauteur, moins aussi la charge sur le sol sera considérable « par suite de la diminution du poids des piliers. »

MM. Fortin continuent leur notice par la description du déplacement de l'appareil, la fondation des culées, la maçonnerie des piliers à l'air comprimé et à l'air libre et enfin au démontage de l'appareil, soit pour le laisser au repos ou pour le remorquer par ses propres machines sur le lieu d'une autre construction. Ils expliquent comment se fait l'enlèvement successif des diverses parties de l'appareil et leur arrimage sur les bateaux.

Ensuite MM. Fortin passent à l'appareil à un puits. « L'appareil à trois « puits offrirait de nombreuses ressources dans les travaux hydrauliques et « surtout l'avantage d'une extrême rapidité d'exécution pour un grand travail « comme celui de la fondation d'un pont; mais, dans les cas ordinaires, son « emploi présenterait les inconvénients inhérents à sa grande dimension. « Ces inconvénients, qui tiennent à l'étendue du travail qu'on embrasse en « une fois, disparaissent si on limite l'opération au fonçage d'un seul pi- « lier: la durée du travail n'est pas d'ailleurs aussi longue qu'on peut le « supposer et il y a économie notable dans le prix de revient de fondation. « Tel est le résultat que nous nous sommes proposé d'atteindre dans l'ap- « pareil à un puits, appareil qui n'est au reste qu'une modification du pre- « mier et qui complète le système de fondation de ponts par piliers tubu- « laires. »

Suit la description de l'ensemble de l'appareil, arrière et avant du bateau travail par bout, travail au milieu du bateau. Ils donnent la comparaison des puits en chêne et fer, en tôle et en fonte, le prix d'établissement de l'appareil à trois puits qu'ils évaluent à 185,000 fr. et celui à un puits à 75,000 fr. Ils établissent ensuite la dépense d'extraction par 24 heures pour trois piliers foncés à 3 m. par l'appareil à trois puits,

et la dépense dans le même temps pour un puits foncé à trois mètres par l'appareil simple.

1° *Appareil à trois puits :* 76^{mc},95 de matériaux à extraire en 24 heures correspondant en moyenne à la sortie de 4 bennes de 0^{mc}, 30 chacune par heure et par puits.

Main-d'œuvre d'extraction : 2 équipes se relayant de 6 heures en 6 heures et composées chacune de :

18 terrassiers au fond des puits à 6 fr. . . .	108 fr.	
6 manœuvres aux têtes de puits à 3 f. 50.	21 »	
6 manœuvres aux treuils sur la charpente à 3 f.	18 »	
2 mariniers pour surveillance des amares à 4 fr.	8 »	
1 mécanicien	7 »	
1 aide mécanicien.	5 »	
1 chauffeur	4 »	
3 contre-maîtres, à 7 fr.	21 »	
	192 »	
Soit 2 équipes à 192.		384 fr.
Main-d'œuvre de montage des cylindres :		
3 charpentiers à 6 fr.	18 »	
6 aides charpentiers à 4 fr.	24 »	42 fr.
Combustible, graissage des machines, éclairage des puits estimé sur la consommation moyenne d'une machine de 20 chevaux à 4 k. par heure et par cheval pour 24 heures. 1920 k. à 40 c.		72,80
dépenses par 24 heures.		498,80

Prix du mètre cube d'extraction $= \frac{500}{76,95} =$ 6 fr. 41.

2° *Appareil à un puits :* 25^{m} 75^{c} de matériaux à extraire par 24 heures.

Main-d'œuvre d'extraction, 2 équipes se relayant de 6 heures en 6 heures, composées de .

6 terrassiers, 4 manœuvres, 1 marinier, 1 mécanicien, 1 chauffeur et 1 contre-maître ensemble. . . . . 71 fr.		
et pour 2 équipes	142 fr.	»
Main-d'œuvre de montage des cylindres, 1 charpentier et 2 aides	14	»
Combustible, graissage et éclairage, estimé sur la consommation moyenne d'une machine de 8 chevaux à 4 k. par cheval pour 24 heures, 770 k. à 40^{c}	30	80
dépenses par 24 heures..	186 fr.	80 c.

Prix du mètre cube d'extraction $= \frac{187}{25,75} =$ 7 fr. 27 c.

MM. Fortin donnent un devis comparatif de la fondation d'un pont à quatre piles et deux culées établies à 9 mètres au-dessous de l'eau, les piles composées de 3 piliers et les culées de 7 piliers chacune, duquel il ressort :

Pour l'appareil à trois puits, 44 jours pour l'exécution et une dépense de . . . . 99000 fr.

Pour l'appareil à un puits, 88 jours pour l'exécution et une dépense de. . . . . 93000 fr.

La fondation générale avec maçonnerie des piliers, échafaudages, frais de toute nature, intérêts, entretien et amortissement à 20 °/o, de l'appareil, s'élève pour le premier cas à . . . . 190,000 fr.
et pour le second à . . . . 159,000 fr.

« Il ressort de l'exemple précédent de fondation, que l'emploi de « l'appareil à un puits présente plus d'avantage que le grand appareil, « abstraction faite des sommes qui peuvent varier, mais qui res- « tent nécessairement proportionnelles, et que, sur un grand travail, il y « aurait intérêt à employer plutôt deux appareils simples qu'un appareil à « trois puits.»

MM. Fortin-Herrmann indiquent ensuite diverses modifications que peut affecter l'appareil simple suivant les conditions de fondation.

Ils examinent les dispositions nouvelles qu'on peut employer pour les fondations dans les terrains tourbeux, marécageux, dans les fondrières, sables boulants, et les travaux à la mer.

« Les appareils que nous venons de décrire nous paraissent de « nature à pouvoir se prêter aux travaux de ports et de jetées. « Sans prétendre indiquer des dispositions spéciales, nous croyons qu'on « peut concevoir facilement un système d'appareils économiques, utilisant « les presses hydrauliques et l'eau comme lest, ou les presses hydrau- « liques isolément, et qui, par l'enfoncement successif des pieux re- « couverts en maçonnerie ou en métal, permette en partant de terre, « soit de fonder des murs de quai, soit d'avancer une jetée en mer.

« Les communications si nombreuses et si intéressantes que notre So- « ciété doit, sur les travaux de fondations du pont de Kehl, à l'obligeance de « notre honorable président, nous font exprimer ici, disent MM. Fortin en « terminant, le désir bien légitime de voir communiquer à la Société les « différents incidents qui ont pu se produire, et la marche qu'ont suivie les « travaux dans l'application toute récente de nos procédés à la construction « des fondations des ponts de Lora en Espagne et de Bordeaux sur le Chemin « de fer du Midi. »

MM. Joly, Coindet, Cazale de Fondouce, Jolly, César et West ont été reçus membres de la Société.

NOTE

Sur le steamer américain l'Adriatic

PAR

M. Jules GAUDRY

Après le *Great-Eastern*, cette dernière merveille du génie de Brunel que la fatalité semble poursuivre, le plus grand navire à vapeur de commerce est, dit-on, l'*Adriatic*, qui pour la troisième fois vient de quitter le Havre se rendant à New-Yorck. J'ai dû à l'obligeance des officiers de visiter et d'étudier longtemps à bord ce splendide édifice flottant, dont la machine surtout renferme des particularités intéressantes.

L'*Adriatic* est un steamer à grande vitesse pour passagers de première classe ; comme ses devanciers au Havre, *Humbold*, *Francklin*, *Nashwill*, *Arago*, *Fulton*, *Vanderbilt*, *Ocean-Queen* et *Illinois*, comme la plupart des steamers transatlantiques à voyageurs de la Compagnie Cunard, comme les nouveaux bâtiments de Bordeaux au Brésil de notre Compagnie des Messageries impériales, l'*Adriatic* est un fin bâtiment ayant des roues pour propulseurs, une très-faible voilure auxiliaire et une grande puissance de machines. Voici les particularités que nous signalerons dans la coque, les machines, les roues et les chaudières.

1°. COQUE.

La coque, entièrement en bois, sort des chantiers de Steers à New-Yorck, qui ont déjà fourni le *Niagara* et l'*American*, deux navires célèbres de la marine des Etats-Unis. L'*Adriatic* est regardé comme un chef-d'œuvre d'art naval au point de vue des proportions respectives, de la grâce des formes et de la solidité. Ses épreuves à la mer ont été, dit-on, des plus rudes.

Son tonnage légal est de 4,144 tonneaux, mais son déplacement est de 5,888 tonneaux, nombre que les vaisseaux de ligne de premier rang dépassent seuls, en raison de leur profonde immersion et de leurs formes pleines. La coque de l'*Adriatic* est au contraire très-fine. Le rapport de son volume immergé au parallélipipède circonscrit donne 0,57 ; et son tirant d'eau réduit à 6 m. lui donne en toute saison accès facile dans les grands ports. Les façons-avant s'étendent sur environ 1/5 de la longueur à la flottaison avec un peu de concavité sur les six premiers mètres. Les façons-arrière sont plus remplies, convexes et plus courtes, et par conséquent l'*Adriatic* est encore une expression de cette tendance connue des constructeurs américains à s'éloigner de la forme que la nature nous offre dans les poissons, lesquels ont toujours plus de finesse à l'arrière qu'à l'avant, tendance qui paraît au surplus se généraliser et que nous retrouvons notamment en France dans le yacht impérial l'*Aigle*.

Dans l'*Adriatic*, les flancs latéraux sont droits, l'étrave ou partie antérieure fendant l'eau est courbe au-dessous de la flottaison, mais droite au-dessus, et retombant seulement par le haut en léger col de cygne richement ornementé, sans poulaine.

La poupe est arrondie en talon de sabot avec un faible surplomb sur l'étambot et un dégagement qui la rend très-satisfaisante à l'œil.

La longueur totale du navire est de 106 m. 70 avec 15 m. 20 de largeur soit 7 pour rapport entre ces deux dimensions.

En dehors des tambours, la largeur totale est de 27 m. 30, par conséquent, le bâtiment ne peut entrer dans aucun des bassins actuels du Hâvre ; il séjourne au fond de l'avant-port en attendant qu'on ait achevé la porte de 30 m. par laquelle on aura bientôt accès dans le bassin de l'Eure.

Bien qu'on exagère souvent la difficile entrée du port du Havre (qu'on va d'ailleurs beaucoup élargir après l'avoir approfondie récemment, avec la drague de M. Mazeline), on comprend qu'un bâtiment aussi considérable que l'*Adriatic* ne peut que très-lentement entrer et sortir. Le trajet d'une extrémité à l'autre de l'avant-port, au milieu des autres bâtiments, demande parfois une heure ; et c'est une très-intéressante opération où les capitaines du port et du navire ainsi que le pilote déploient leur habileté en présence d'une affluence toujours considérable.

A l'intérieur, la coque de l'*Adriatic* contient un faux pont divisant la cale en deux parties et trois ponts proprement dit. Sur le premier, en commençant par le bas, sont les chambres d'équipages, d'agrès, etc. Le deuxième pont est tout entier occupé par les salons et 300 cabines pour voyageurs de première classe, vastes, bien éclairées, ventilées et chauffées à la vapeur. Suivant les exigences actuelles, les lits sont placés longitudinalement, position reconnue moins fatigante pour les passagers dans les gros temps. Sur le troisième pont s'élève une vaste dunette qui le couvre entièrement jusqu'au mât de misaine et laisse seulement découverts une quinzaine de mètres à l'avant pour les manœuvres.

Dans cette dunette, sont le fumoir, la salle à manger pour deux cents couverts, ayant 22 m. de long sur 8 m. de large, et 2 m. 20 de haut ; l'office et les cuisines viennent à la suite, ainsi que les vestibules d'entrée des salons, le compartiment au-dessus de la machine, puis les chambres d'officiers et le magasin des appa-

reils de secours contre l'incendie. Le plafond qui recouvre la dunette déborde latéralement en couvrant l'allée et forme ainsi un quatrième pont partiel, qui sert de promenoir principal aux voyageurs, et sur lequel s'élève encore, entre les cheminées et les tambours, une seconde dunette formant un sixième étage qui contient la chambre de l'officier de quart, celle du gouvernail et le grand capot de ventilation de la machine; d'autres capots s'élèvent aussi pour l'aréage des ponts.

Toutes ces dispositions ont une forme monumentale ; les roues à aubes étant assez basses, leurs tambours n'ont pas le volume monstrueux qui choque l'œil du marin dans certaines coques ; et en résumé celle de l'*Adriatic*, bien planée et d'un noir uniforme sur laquelle se detachent deux lignes de préceintes ou filets, et, aux deux extrémités, une ornementation sobre et de bon goût, offre un aspect très-satisfaisant.

Mais, comme tous les steamers à roues, l'*Adriatic* est pourvu d'une mâture basse et grêle qui n'a pas l'effet saisissant de cette forêt de vergues et de cordages dont sont pourvus les voiliers et vapeurs mixtes. L'*Adriatic* a deux simples mâts de goëlette à deux vergues chacun ; ce gréément si disproportionné sur sa coque serait encore cependant d'un bel effet sur un moindre navire, car les mâts ont 0 m. 75 de diamètre à leur naissance ; 16 cables les soutiennent ; les grandes vergues ont environ 18 m. de long et l'on peut évaluer approximativement à 1500 mètres carrés la surface totale des voiles.

Quant aux aménagements des passagers, ils sont d'une grande magnificence ; ce ne sont que vitraux de couleur, émaux, peintures, stucage, tapis, dorures et sculptures, un peu lourdes peut-être. La salle à manger est splendide, mais le salon se prolonge autour des escaliers, tambours de cheminée et d'aérage en une multitude de détours et d'encognures qui empêchent d'en embrasser l'ensemble.

L'équipage du navire compte 175 personnes dont 81 pour la machine, savoir : 36 chauffeurs formant 3 équipes, 30 soutiers, 14 mécaniciens et 1 chef-ingénieur.

2° MACHINES.

Tandis que la marine militaire à hélice marche vers l'uniformité du système des machines, dont celle à deux cylindres fixes, horizontaux et à bielles en retour, de M. Dupuy de Lôme, peut être considérée comme le type ; tandis que la marine à hélice du commerce paraît adopter généralement aussi le type à deux cylindres fixes verticaux renversés dite *machine-pilon*, les bateaux à roues offrent au contraire une grande multiplicité de systèmes. La navigation fluviale emploie surtout en ce moment les machines horizontales à hauteur du pont, système dit du Rhône ou du Creusot. La machine livrée par cet établissement au yacht impérial de Russie appartient à ce type. En mer comme en rivière, on fait aussi grand emploi des machines oscillantes de Penn ou de Cavé plus ou moins modifiées.

Les récents navires de la ligne du Brésil construits à la Ciottat, et la machine de M. Mazeline dans le yacht impérial l'*Aigle* appartiennent au type de Penn quant à l'ensemble des organes principaux, mais avec de nombreuses dispositions particulières, principalement dans la distribution de la vapeur. Le port du Havre nous offre deux bâtiments à vapeur singuliers, dont nous regrettons de ne pouvoir dire qu'un mot en passant, savoir ; l'*Alliance* et la *Normandie*.

L'*Alliance* et le *Havre*, deux vapeurs anglais de 200 chevaux faisant le service de Southampton, intéressent moins encore par leurs formes élancées et coquettes que par leurs ma-

chines à triples cylindres verticaux à simple effet de Sceaward. L'exposition universelle de 1855 nous en a offert un type réduit qui n'est pas oublié sans doute. Mais dans les deux machines en question il existe quelques particularités nouvelles; l'arbre porte-roues est simplifié ; les pompes à air, au lieu d'être inclinées et d'y prendre leur mouvement, sont redressées et prennent leur mouvement sur le piston par un jeu de bielles et de balanciers ; enfin le piston est guidé. Le système de M. Sceaward dont la simplicité est jusqu'ici sans égale fut longtemps isolé ; il paraît avoir maintenant fait ses preuves et il s'est récemment répandu, témoins le *Havre* et l'*Alliance*, au seul port du Havre.

La *Normandie* rappelle par la forme de sa coque les bateaux à façons demi-marines de Londres à Gravesend, dont on a souvent parlé. Quant à sa machine,elle est un des rares exemples de celles qui, dans les bateaux à grande vitesse, ne comprennent qu'un seul cylindre ; celui-ci est vertical avec quadruple tige de piston et bielle en retour s'élevant au-dessus du pont de toute leur longueur.

Si l'on est loin de l'uniformité des types de bateaux à roues en France et en Angleterre, chaque constructeur américain paraît aussi avoir son système. Les premiers transaltantiques qui nous vinrent des Etats-Unis eurent des machines, et parfois une seule machine, du type classique de Watt à balanciers latéraux, pourvues toutefois des agencements modernes et perfectionnées; tels furent les steamers *Humboldt, Franklin* et *Nashwill*. Vinrent ensuite le *Fulton* et l'*Arago* avec leurs machines à deux cylindres oscillants vis-à-vis l'un de l'autre; puis arrivèrent le *Vanderbilt* et l'*Océan-Queen* avec leur machine singulière à balancier évidé et supérieur très-élevé au-dessus du pont sur des bâtis de bois d'une dimension monstrueuse. Sans les recommander à l'imitation, on dut cependant voir avec un grand intérêt ces singuliers spécimens d'un type tout-à-fait classique aux Etats-unis qui apparaisaient dans nos ports pour la première fois.

La machine de l'*Adriatic* sort des ateliers de New-Yorck, dits *Novelty-Worck*, elle appartient au type oscillant comme dans le *Fulton* et l'*Arago*, et rappelle dans son engencement général un type de M. Cavé, dit du *Héron*, bien connu dans la marine, ainsi que celui de la machine à roues du *Great-Eastern*. Les deux cylindres oscillent vis-à-vis l'un de l'autre dans l'axe longitudinal du navire et conduisent l'arbre porte-roues au moyen de la même paire de manivelles ; celles-ci, par un agencement de bielles connu, forment un angle pour éviter que les deux pistons soient ensemble à leur point-mort ; mais cet angle, qui d'ordinaire est droit est réduit à environ 10 degrés seulement dans l'*Adriatic*. Ces cylindres sont probablement les plus grands qu'on ait faits encore ; avec le presse-étoupe guide usité dans les machines oscillantes, ils ont environ 6 m. de hauteur sur 2 m. 75 de diamètre extérieur, y compris l'enveloppe. Les couvercles y sont fixés par 60 boulons à tête carrée de 6 centimètres de côté ; les tiges de piston ont 0 m. 35 de diamètre; chaque manivelle a 3 m. de long sur 0 m. 28 de section ; l'arbre porte-roues qu'elle commande a 0 m. 65 de diamètre ; le palier par lequel il s'appuie sur le bâtis a 1 m. 60 de long sur 0,75 de large. Son chapeau est fixé par deux boulons monstres de 0 m. 15 de diamètre dont les écrous à 6 pans ont 0 m. 35 pour diamètre de la circonférence circonscrite et 0,18 pour hauteur.

Des escaliers de quarante marches donnent accès aux trois étages de plateformes de service, et, n'étaient les modifications apportées après coup dans l'agencement primitif pour placer les nouveaux condenseurs dont nous parlerons, on pourrait citer l'*Adriatic* comme ayant un aménagement très-commode pour les mécaniciens, qualité si remarquable dans les bâtiments anglais, mais plus rare dans les steamers américains, si bien aménagés d'ailleurs pour les passagers.

La force de la machine est une donnée incertaine sur les

steamers américains où l'on a des évaluations peu comparables aux nôtres.

On estime celle de l'*Adriatic* à 2000 chevaux comme celle du *Vanderbilt*; mais pour évaluer sa puissance comparativement à celle de nos navires français il convient de lui appliquer la formule accoutumée de la marine impériale.

$$F = \frac{D^2(cn)}{0,59}$$

Dans laquelle on désigne par :

F la force nominale en chevaux de 200 kilogramètres.
D le diamètre de piston qui est 2 m 563.
C la course qui est 3 m 657.
N le nombre de tonnes par minute qui est 17.

La formule donnera

$$F = \frac{2,563^2 \times (3.657 \times 17)}{0,59} = 690 \text{ chevaux}$$

et pour les deux cylindres 1380 chevaux, soit 17 chevaux par mètre de section résistante.

Tel est le travail nominal de la machine de l'*Adriatic* que nous pouvons comparer à celui de nos vaisseaux et frégates fonctionnant à peu près dans les mêmes conditions de pression, de vapeur et de détente. Mais on sait que la force nominale des machines marines évaluées dans les calculs en chevaux de 200 km. fournit à l'indicateur sur le piston au moins trois fois cette force, en chevaux ordinaires de 75 km. ; de sorte que, comparée aux machines d'usine, celle de l'*Adriatic* peut être considérée comme ayant une puissance effective d'au moins 4000 chevaux.

Cette différence entre les forces nominale et réelle, et cette immense accumulation de puissance mécanique ne sont pas insolites; car, sans parler du *Great-Eastern* où l'indicateur a accusé plus de 12,000 chevaux, la marine anglaise a ses nouvelles frégates *Or-*

lando et *Mersey* de 1000 chevaux nominaux, dont la force effective a dépassé 4000 chevaux de 75 k^{gm}.

Dans la machine de l'*Adriatic* il y a plusieurs particularités dignes d'intérêt, au moins à titre de curiosité, savoir : les bâtis, la distribution et la condensation.

1° *Bâtis*. Chacun des 2 bâtis comprend deux paires de fortes pièces rectangulaires en fonte creuse ; l'une en bas, sur laquelle oscillent les cylindres, l'autre parallèlement en haut, qui porte l'arbre des roues. Celle du bas s'appuie en plein sur une paire de carlingues de bois fixée au fond du bâtiment, celle du haut s'appuie par les extrémités sur les deux maitres-baux du deuxième pont. Pour relier de bas en haut ces pièces principales du bâtis, il existe quatre colonnes en fer forgé de 0 m. 25 de diamètre, croisées dans leur inclinaison. Enfin les deux bâtis latéraux ainsi formés sont réunis en haut par deux entretoises transversales en fonte qui fortifient les deux maitres-baux et complètent avec eux le cadre ; en bas les deux bâtis sont faiblement entretoisés, si ce n'est par le fond même du navire. Les deux carlingues d'appui sont elles-mêmes d'assez faible section, en égard à la force de l'appareil, en sorte que la machine est plutôt pendue aux baux qu'appuyée sur le fond du navire. Jusqu'ici il ne parait pas que cette installation, qui étonne, ait eu de fâcheuses influences.

2° *Distribution*. — Dans l'*Adriatic*, comme dans la plupart des grandes machines oscillantes, l'admission et l'évacuation de la vapeur se font par des ouvertures distinctes aux cylindres, avec des obturateurs mus par des excentriques dont la transmission de mouvement est articulée à cause de l'oscillation. Ce qui distingue particulièrement la distribution de l'*Adriatic*, c'est que pour le changement de marche il y a une coulisse Stephenson à deux excentriques appartenant au type dit *coulisse simple* et mobile sur le coulisseau. Cette coulisse a 1 m. 40 de long et 0,9 d'épaisseur. Pour la mouvoir et vaincre le frottement des pièces,

il existe pour chaque cylindre un moteur à vapeur spécial, dont le piston a 0 m. 70 de diamètre sur 1 m. de course. Au bout de la tige est attachée la bielle de traction de la coulisse, et pour la maintenir sur le coulisseau à ses points extrêmes ou intermédiaires, il suffit d'enrayer la crosse de la tige du piston dans ses guides ou glissières au moyen d'un frein à volant; un seul mécanicien peut, ainsi, changer la marche; de la main gauche il serre ou desserre le frein et débraye pour ainsi dire la coulisse; de la droite il introduit la vapeur d'un côté ou de l'autre du piston et il lui fait décrire le chemin voulu en arrière ou en avant pour amener la coulisse au point voulu, aussi facilement, pour le moins, que le mécanicien de locomotive avec le levier de relevage dans son secteur à crans. Outre la coulisse, dont on peut varier la position, il y a un tiroir supplémentaire de détente près des lumières d'introduction qu'on fait varier à la main. Comme dans la marine militaire de France, la distribution proprement dite est agencée pour une admission durant les 0,60 de la course, mais avec la détente variable on peut réduire cette admission au moins à 0,3.

3° *Condensation*. Les Américains emploient depuis plusieurs années sur leurs navires un système particulier dit *Condenseur à double vide de Pirrson*, peu connu en France quoiqu'il y soit breveté. (Pour le dire en passant le brevet français de M. Pirrson est confus, peu intelligible, il ne donne aucune proportion et laisse trop à deviner au lecteur.) Ce titre et un article du *Practical magasine* sont cependant les seuls documents auxquels nous puissions renvoyer. Les renseignements qui vont suivre sont eux-mêmes très- incomplets et nous ne les relatons qu'avec réserve. Nous ne saurions cependant assez appeler l'attention sur ce système, qui se trouve sur presque tous les steamers américains venus dans ces derniers temps en Europe.

Le condenseur de Pirrson est un condenseur tubulaire dit à surface. Les tubes sont couchés avec un peu d'inclinaison et

ajustés entre deux plaques tubulaires comme dans les chaudières de locomotives ; des deux côtés sont des chambres closes qui peuvent encore être représentées par le foyer et la boîte à fumée des locomotives ; dans la première, la vapeur sortant des cylindres arrive, et, après son passage à travers les tubes, cette vapeur sort condensée à l'état d'eau pure et distillée dans l'autre chambre, où puise l'appareil alimentaire des chaudières. Mais ce qui spécialise surtout le condenseur Pirrson c'est que le vide est fait par de très-puissantes pompes à air, à l'extérieur comme à l'intérieur des tubes, d'où est venu au système le nom de condenseur *à double vide.* Il résulte de cette disposition 1° que les tubes sont dans une bâche hermétiquement close ; 2° que, puisque le vide se fait aussi à l'extérieur des tubes, les fuites de ceux-ci ne dérangent pas la marche de l'appareil, à ce point que leurs joints dans les plaques tubulaires sont si peu serrés qu'on peut les enlever pour les racler et les débarrasser du tartre et du cambouis, qui, avec les fuites, mettent si vite hors de service les anciens condenseurs à surface.

Quant au principal avantage de ce système, on a compris qu'il est de fournir une quantité d'eau distillée égale en moyenne aux deux tiers de la consommation totale des chaudières. Le reste est pris suivant l'usage à l'évacuation de l'extérieur des tubes, qui fournit aussi de l'eau chaude. Dans l'*Adriatic*, on a mis en dehors des bâtis un condenseur Pirrson à côté de chaque cylindre ; ce condenseur a sa pompe à air mue horizontalement par un gigantesque excentrique agencé sur l'arbre porte-roues, et un mouvement de tringles, leviers et arbres, désigné dans les ateliers sous le nom de mouvement de sonnette. Cette pompe est à double effet ; son piston a 1 m. 05 de diamètre et 1 m. 52 de course, la surface tubulaire est pour toute la machine 2208 m.q. soit 1 m.60 par cheval nominal : les tubes ont 0 m. 022 de diamètre extérieur et une très-faible épaisseur ; les dimensions extérieures de chacune de deux bâches

qui les contiennent sont 5 m. de long, 1 m. 90 de large et 1 m. 90 de hauteur, dimensions qui ne sont assurément pas démesurées dans les proportions générales de l'appareil.

Un seul mécanicien peut régler l'introduction d'eau dans les deux condenseurs, pendant que deux autres changent la marche et gouvernent la vapeur, de sorte qu'en résumé trois hommes peuvent conduire la machine géante de l'*Adriatic*.

3° ROUES A AUBES.

Pendant que la Compagnie des messageries impériales appliquait à ses steamers de la ligne du Brésil des roues à aubes articulées, évitant le relèvement d'eau, si préjudiciable à leur effet utile, les constructeurs américains persévéraient dans l'emploi des aubes fixes très-multipliées. Comme ses devanciers, l'*Adriatic* a des aubes fixes, longues de 3 m. 58, sur une largeur qui est aujourd'hui réduite à 0 m. 60, après avoir été, à ce qu'il paraît, primitivement portée à 1 mètre. — Chaque roue a trente-deux aubes, dont treize trempent à la fois. Nous voici donc loin de cette règle qu'on trouve encore formulée dans bien des ouvrages, où il est dit que trois aubes seulement doivent agir ensemble, l'une en plein, l'autre commençant à s'immerger lorsque la troisième va quitter l'eau. C'est que cette règle, vraie et rationnelle quand elle s'applique à un navire de deux cents chevaux au plus, conduirait à des dimensions d'aubes impraticables, si on l'appliquait à un grand steamer comme l'*Adriatic*. Sa surface totale d'aubes est de :

$$3^{m}58 \times 0,6 \times 26 = 55^{m}84, \text{ soit } \frac{55,84}{80,96} \quad 0,69$$

de la section immergée du navire.

Les roues ont pour diamètre extrême 12 m. 16, et pour diamètre réduit au milieu des aubes 11 m. 16, soit 35 m. 04. de cir-

conférence ; elles donnent dix-sept tours par minute, et, par conséquent, elles fournissent dans ce temps 595 m. 64. S'il est vrai que la vitesse du bâtiment soit de 17 nœuds à l'heure, équivalent à $\frac{1851 \times 17}{60} = 524^{m}45$, par minute, on voit que l'excès de vitesse des roues sur celle du navire est seulement de 71,20 par minute et que ces deux vitesses ont 1,13 pour rapport. Des expériences faites à diverses vitesses ont prouvé, à ce qu'il paraît, que chaque tour de roues correspond à peu près à la vitesse de 1 nœud.

4° CHAUDIÈRES.

Les chaudières ont aussi leurs particularités intéressantes et inusitées. Elles constituent deux groupes de quatre corps à six foyers chaque. Ces groupes sont séparés par la machine ; ils ont chacun leur cheminée haute d'environ 20 m. sur 2 m. 50 de diamètre ; les corps de chaudières sont disposés en long sur 2 lignes avec l'allée de chauffage au milieu, les foyers se regardant ; elles appartiennent au type dit tubulaire en retour, spéciale à la marine, mais avec cette différence que les tubes sont verticaux et contenant l'eau à l'intérieur, les gaz chauds passant à l'extérieur, au lieu que dans le type usuel, plus voisin des locomotives, les tubes sont horizontaux et plongés dans l'eau, les gaz chauds passant à l'intérieur. Les tubes n'ont que 0 m. 05 de diamètre et à peine 1 m. 80 de longueur. On en compte en tout 13064 ; avec les foyers et chambres à feu ils offrent 2829 m. q. de surface de chauffe total, soit 2 m. q. 05 par cheval nominal ; on trouve de même par cheval environ 6 décimètres quarrés de grille et un demi-décimètre de section de cheminée. D'après ces proportions on voit ; 1° que la machine peut très-bien fournir le travail effectif considérable que nous avons supposé, et 2° que les larges propor-

tions du générateur uni à l'emploi de l'eau distillée doivent amener une consommation de combustible très-réduite.

Nous n'avons pas pu connaître quelle est cette consommation, nous savons seulement qu'elle est réputée très-faible. Les soutes qui entourent la machine et la chaudière sur 40 m. de longueur, peuvent contenir 1200 tonnes de houille, ce qui, pour un voyage moyen de 11 jours, donnerait en nombre rond 3kil.30 par cheval et par heure, mais cette évaluation est évidemment supérieure à la consommation réelle; car dans les soutes on fait largement la part de l'imprévu et des accidents, et il est rare que leur contenu soit épuisé. Lorsque j'entretins la Société du steamer *Vanderbilt*, je relatai, comme un oui-dire et sous toute réserve, une consommation de moins de 2 k. par cheval effectif et par heure. Le *Vanderbilt* ayant aussi, je crois, ses condenseurs Pirrson et de larges proportions, sa faible consommation prétendue n'a plus rien qui étonne et très-probablement celle de l'*Adriatic* n'est pas supérieure.

Je profite de cette occasion pour dire qu'on accuse à tort la marine de n'avoir pas fait de progrès dans les économies de la consommation. Celle-ci est beaucoup plus faible qu'on ne le croit souvent, quoiqu'on la rapporte à une force en chevaux nominaux qui égale presque 3 fois la valeur usuelle de cette unité.

Quand on enveloppera mieux les chaudières et récipients de vapeur par des corps anti-rayonnants du calorique, quand la faculté d'alimenter les chaudières avec toute la quantité d'eau distillée voulue permettra d'employer couramment les hautes pressions et les grandes détentes, et, surtout peut-être, quand les chambres de chauffe mieux ventilées fourniront aux foyers un air moins dilaté et plus riche en oxigène sous un volume donné, les grosses machines marines se distingueront sans doute au premier rang par l'économie du combustible. Ces progrès sont d'ailleurs en voie de se réaliser; les machines à très-haute pression

de M. Rowan dans le steamer anglais *Thétis* excitent, en ce moment, l'attention des marins, et paraissent devoir décider la révolution si impatiemment attendue.

J'ai achevé ce qui regarde l'*Adriatic* et il me reste à réunir dans un tableau les dimensions que j'ai pu me procurer sur ce curieux spécimen des constructions d'Amérique.

1° Coque.

Longueur sur le pont.	106m. 70
Id à la ligne d'eau sous charge.	104m. 27
Largeur hors tambours.	27m. 50
Largeur au maître-beau.	15m. 20
Rapport numérique de la longueur à la largeur.	6m. 86
Tirant d'eau moyen en charge.	6m. 08
Section immergée du maître-couple.	80m.q.96
Tonnage légal (*register*).	4144tx
Déplacement d'eau par la carène.	5888tx 44
Rapport du volume de la carène au parallélipipède circonscrit, environ.	0m. 57
Longueur à la ligne d'eau des façons-avants.	25m.
Id. façons-arrières.	16m.
Nombre d'étages dans la coque y compris les dunettes.	6
Creux de la coque sous le 3e pont.	10m. 03
Id. le plafond de la 1re dunette.	12m. 16
Id. 2e dunette.	13m. 96

2° Roues à aubes fixes.

Diamètre extrême.	12m. 16
Id. au milieu des aubes.	11m. 16
Nombre de tours moyen par minute.	17

Soit le chemin correspondant des aubes par secondes.	9m. 92
Vitesse du navire (17 nœuds à l'heure) en m. par seconde.	8m. 07
Rapport munérique entre la vitesse du navire et celle des aubes.	1 13
Nombre d'aubes à chaque roue.	32
Nombre d'aubes frappantes (en charge), sur chaque roue.	13
Longueur des aubes.	3m. 38
Largeur (actuelle) des aubes.	0m. 60
Epaisseur id. des aubes.	0m. 08
Surface totale des aubes frappantes.	33m.q.74
Rapport munérique de la surface des aubes frappantes à celle du maitre-coupe immergé du navire.	0 69

3° *Machines.*

Force nominale suivant la formule française. . .	1380ch.
Nombre de pistons moteurs.	2
Diamètre de piston.	2m. 365
Course de piston.	3m. 657
Pression absolue de la vapeur.	2at. 1/2
Nombre de coups doubles de piston par minute. .	17 »
Vitesse correspondante par seconde.	1m. 03
Diamètre de tiges de pistons.	0m. 33
Diamètre de l'arbre porte-roues.	0m. 65
Diam. extérieur du conduit de vapeur. . . .	0m. 30
Poids des machines en marche.	371 .
Poids par cheval nominal.	270k.
Diamètre des cylindres à changer la marche. .	0m. 70
Course id. . .	1m. 00

4° Condenseur de Pirrson.

Nombre de condenseurs.		2
Surface tubulaire d'un condenseur.		1m.q.104
Diamètre des tubes.		0m. 022
Longueur des tubes.		»
Nombre des tubes.		»
Longueur extérieure de la bâche.		5m.
Largeur id.		1m. 90
Hauteur id.		1m. 90
Pompe à air.	Diamètre du piston.	1m. 05
	Course.	1m. 52
Pompe à eau extérieure.	Diamètre.	0m. 80
	Course.	1m. 50

5° Chaudières.

Nombre de chaudières.	8
Pour chaque chaudière :	
Nombre de foyers.	6
Longueur extérieure.	6m. 08
Largeur. id.	3m. 70
Nombre de tubes.	1635
Diamètre extérieur des tubes.	0m. 05
Longueur des tubes (environ.).	1m. 50
Surface de chauffe totale.	353m.q.64
Longueur de grille (environ)	2m. 20
Largeur de grille (environ)	0m. 80
Poids vide de la chaudière.	47tx
Poids en marche.	60
Pour les 8 chaudières :	
Surface de chauffe totale.	2829m.q.18

Soit par cheval nominal.	2m.q.05
Surface de grille totale.	84m.q.
Soit par cheval nominal.	6d.q.
Section totale des deux cheminées.	7m. 12
Soit par cheval nominal.	0d.q.05
Hauteur totale de cheminées (1), environ . . .	25m.
Poids total des chaudières en marche.	482tx 40
Soit par cheval nominal.	3k. 50

(1) Cette hauteur doit, dit-on, être réduite.

ESSAI

Sur le matériel à marchandises des grandes lignes de chemins de fer

PAR

M. LARPENT

> Un des plus grands services à rendre au pays, est de faciliter le transport des matières de première nécessité pour l'agriculture et l'industrie; etc.
>
> (*Lettre* du 5 Janvier 1860 de S. M. l'Empereur à S. E. le Ministre d'État).

I

Exposé.

La question des transports économiques étant la préoccupation du moment, nous croyons opportun de venir soumettre à la Société des Ingénieurs Civils, pour qu'elle les discute, les idées qu'une longue expérience du matériel des chemins de fer nous a suggérées, ainsi que les études que nous avons faites, durant les loisirs de notre repos forcé, sur les moyens propres à accroître la force des locomotives et augmenter le rapport du poids utile au poids mort remorqué : c'est-à-dire à diminuer les frais de transport sur les chemins de fer.

Si on jette un coup d'œil rétrospectif sur le matériel à marchandises employé il y a une douzaine d'années, et qu'on le

comparc à celui qui existe aujourd'hui, on est frappé du peu de progrès réalisé dans les locomotives et dans le matériel des wagons.

En effet, si on laisse de côté les perfectionnements apportés dans la construction des pièces de détail des machines, on retrouve aujourd'hui, comme il y a une douzaine d'années, la locomotive, généralement employée, disposée de la même manière ; la chaudière est toujours fixée sur un châssis rigide supporté par trois essieux parallèles accouplés ; la surface de chauffe a été portée de 90 mètres carrés à 150 mètres.

Une amélioration notable, il est vrai, a été introduite depuis quelques années dans le matériel des wagons : nous voulons parler de l'augmentation du rapport entre le poids brut remorqué et le poids utile transporté ; ce rapport, qui n'était guère, théoriquement, que de 50 pour cent dans l'ancien matériel, est aujourd'hui de 65 pour cent : c'est un progrès incontestable ; mais est-ce là la dernière limite du perfectionnement, et les choses doivent-elles rester éternellement stationnaires?

En d'autres termes, aucune amélioration ne peut-elle être tentée? 1° en vue d'augmenter la puissance des locomotives ; 2° pour accroître encore le rapport du poids utile au poids mort?

Quelques personnes nous répondront peut-être que les choses existantes suffisent à tous les besoins et qu'il faut s'en tenir à ce que nous avons. Nous regrettons sincèrement de venir troubler la quiétude de ces satisfaits de bonne foi, en les priant de vouloir bien nous pardonner les idées que nous allons émettre, en vue des motifs d'intérêt que nous portons à l'avenir des chemins de fer.

Nous nous adressons aux personnes, qui, justement alarmées de la concurrence des canaux, ne voient pas la possibilité de transporter, à un prix rémunérateur, certaines marchandises encombrantes, et qui, effrayées de l'accroissement du trafic sur

certaines lignes principales et privilégiées, se demandent si, dans un temps donné, les deux voies suffiront à l'accroissement de la circulation des trains, et s'il ne sera pas nécessaire d'augmenter le nombre de voies, c'est-à-dire de refaire les chemins de fer sur la plus grande partie de leur parcours.

A ces personnes, peut-être alarmées outre mesure, mais à coup sûr prévoyantes, nous dirons : Soyez sans inquiétude; la locomotive, cette machine admirable vous viendra en aide, car elle est loin d'avoir atteint la dernière limite de perfectionnement. Le jour n'est pas éloigné, où les recherches d'une bonne machine articulée seront couronnées de succès; alors, l'obstacle qui s'opposait à l'extension de la puissance des locomotives étant levé, ce moteur vous remorquera des trains de mille tonnes et plus en une seule fois. La crainte que vous concevez pour l'encombrement de la circulation sera considérablement atténuée; le poids mort du matériel pourra être réduit au quart du poids total remorqué, et par suite le transport de certaines marchandises encombrantes pourra être abordé assez fructueusement.

Le problème à résoudre était donc celui-ci : Chercher une machine qui pût remorquer la plus forte charge d'un train composé de wagons, dont le poids mort fût le plus faible possible par rapport à la marchandise transportée.

C'est la solution de ce problème qui nous a tenté. Mais n'espérant pas de sitôt la réalisation de notre idée, à cause de sa nouveauté, nous appellerons, pour cette raison, notre nouvelle locomotive et nos nouveaux wagons *le matériel de l'avenir.*

II.

La nouvelle locomotive.

L'impossibilité, bien constatée aujourd'hui, de ne pouvoir charger avec sécurité les rails et les bandages d'un poids supérieur à cinq ou six mille kilogrammes, et l'absence de moyens pratiques pour accoupler les essieux non parallèles, font que la machine pesant trente à trente-cinq tonnes, reposant sur trois essieux chargés chacun de dix à douze tonnes, et maintenus parallèlement par le châssis rigide, est la dernière limite de puissance qu'une machine rationnelle puisse atteindre. L'adhérence et la surface de chauffe constituent les éléments de la puissance d'une machine; or, comme l'adhérence est proportionnelle au poids, et qu'il est d'ailleurs impossible d'augmenter la surface de chauffe sans augmenter le poids, il s'en suit qu'avec les moyens actuels, fournis par la science, on ne saurait construire une machine puissante sans que le poids en soit relativement élevé.

Mais si, comme nous le pensons, la machine à marchandises ordinaire du poids de 30 à 35 tonnes, et de 125 à 150 mètres carrés de surface de chauffe, portée sur trois essieux parallèles, se comporte convenablement sur la voie, que son adhérence soit en rapport convenable avec la surface de chauffe, qu'enfin son effort de traction soit suffisant pour remorquer des trains de 4 à 500 tonnes, il faudrait, pour doubler la puissance et obtenir une machine deux fois plus forte, doubler la surface de chauffe et le poids, qui en est la conséquence, en supportant la machine sur un nombre double de points d'appui, soit sur six essieux.

Quelques ingénieurs pensent que la surface de chauffe des machines, en général, est insuffisante pour produire constamment la vapeur au maximum d'effort dû à l'adhérence. D'autres, au con-

traire, disent que dans certaines circonstances défavorables, occasionnées par l'influence climatérique sur la voie, l'adhérence est en défaut (ce qui n'est pas contestable), mais qu'elle peut, dans certains cas, devenir nulle, de sorte qu'une machine se trouverait dans l'impossibilité de se mouvoir elle-même.

Nous avouons ne pas partager ces opinions extrêmes, parce que nous ne les trouvons pas suffisamment justifiées par l'expérience ; et cependant nous serions bien forcé de nous ranger à l'avis de ceux qui jugent la surface de chauffe insuffisante, si les locomotives étaient établies en vue de l'introduction de la vapeur durant toute la course du piston. Or, les machines à vapeur en général, et les locomotives en particulier, ne peuvent fonctionner économiquement qu'à l'aide de la détente ; c'est une condition indispensable à leur marche régulière, normale et économique ; donc, on ne peut arguer du fait spécial du fonctionnement en pleine admission, qui se produit rarement, même en démarrant un train, pour conclure de l'insuffisance de la surface de chauffe.

Quant au défaut d'adhérence, qui, dans certains cas, peut devenir nulle, nous croyons ne pas devoir attacher la moindre importance à cette objection, parce qu'aucun fait de cette nature n'est parvenu à notre connaissance ; la meilleure preuve que cette opinion est erronée, c'est que le service se fait avec une régularité relative, par tous les temps.

Nous pensons donc que ce qui fait la supériorité de la machine locomotive sur les autres systèmes de remorquage, essayés sur les chemins de fer, c'est, d'abord, la remarquable simplicité de l'emploi de l'adhérence, considéré comme moyen de transmission de la puissance à la résistance ; et, ensuite, l'équilibre forcé entre l'adhérence et la surface de chauffe, envisagé comme élément de la puissance, dont on ne peut se départir dans la construction d'une machine bien étudiée, et qui n'est que la

conséquence du poids à donner aux pièces, des divers organes, pour résister aux efforts qu'ils ont à faire.

Dans la nouvelle machine que nous proposons, nous ne demanderons donc aucun supplément d'adhérence, en dehors du poids nécessaire à la machine, avec ou sans ses approvisionnements.

Nos vues se bornant, pour le moment, à la question de principe, nous n'avons pas l'intention de donner la description complète de la machine, nous allons nous borner à en indiquer les principales dispositions, en nous réservant d'en faire plus tard une étude complète, s'il est nécessaire.

Suivant nous, la machine, qui semblerait devoir convenir pour constituer un progrès en rapport avec les besoins actuels et futurs de l'exploitation des chemins de fer, devrait pouvoir effectuer un effort de traction de dix à douze mille kilogrammes, lequel effort est nécessaire pour remorquer un train de mille à douze cents tonnes, sur une rampe de cinq millimètres par mètre. Elle serait du poids de soixante à soixante-dix tonnes, munie d'un générateur de trois cents mètres carrés de surface de chauffe, et supportée par six essieux accouplés. La chaudière pourrait, à volonté, reposer sur deux trucks à trois essieux chacun, ou bien sur trois trucks à deux essieux chacun, articulés sous la chaudière, pour permettre aux essieux de converger vers le centre des courbes.

Dans les deux cas, la chaudière devrait porter et pivoter sur les trucks extrêmes; elle reposerait seulement sur celui du milieu, à l'aide de supports à glissière, dans le cas de l'emploi des trois trucks. Les essieux d'un même truck seraient accouplés par le procédé ordinaire, à bielles horizontales.

Les essieux convergents de trucks différents, les plus rapprochés, c'est-à-dire ceux qui cessent d'être parallèles dans les courbes, seraient accouplés par notre nouveau procédé, au moyen de bielles rigides obliques, combinées avec notre levier d'oscil-

lation compensateur ; afin d'utiliser comme adhérence le poids total de la machine supportée par les six essieux accouplés.

Inutile d'ajouter, que notre système d'accouplement d'essieux non parallèles, pourrait également s'appliquer, avec succès, à une machine plus ou moins puissante, supportée par un nombre d'essieux plus ou moins considérable.

Dans tous les cas, deux cylindres moteurs seraient assujétis au truck d'avant, leur effort serait transmis à l'essieu d'arrière de ce truck, qui porterait les excentriques de distribution.

A part les idées que nous émettons sur la nécessité d'augmenter, dans une forte proportion, la puissance des locomotives, pour pouvoir remorquer de plus lourds trains et arriver à diminuer les frais de traction, on voit que notre moyen d'accoupler les essieux convergents constitue, à lui seul, ce qu'il y a de nouveau dans cette partie de notre communication.

Avant de donner la description du mécanisme de notre système, nous demandons la permission de faire une courte digression.

Depuis que nous nous occupons de matériel de chemins de fer, nous n'avons cessé d'être d'accord avec les personnes qui demandent qu'une bonne machine articulée vienne tirer la locomotive actuelle de l'ornière où elle se traîne depuis son enfance. Aussi, le problème de l'accouplement des essieux convergents nous occupe-t-il depuis plusieurs années ; ce n'est que vers le milieu de l'année dernière que nous fûmes assez heureux pour découvrir la solution dont nous allons vous entretenir.

Quelques personnes nous ont fait le reproche de ne pas avoir publié notre découverte, ou tout au moins de ne pas en avoir donné connaissance aux principaux ingénieurs compétents des chemins de fer ; nous avons fait observer que, par expérience, nous comprenions le peu d'attention que les ingénieurs les mieux disposés étaient obligés de donner aux nouvelles idées, qui sentent toujours un peu l'invention ; qu'en allant soumettre notre

idée, nous avons craint d'être blessé par l'épithète d'inventeur, qu'on ne manque pas de jeter à la tête de tout individu qui vient proposer du nouveau; or, comme nous ne sommes pas un inventeur, dans le sens vulgaire qu'on a l'habitude de donner à ce mot, mais un humble pionnier de l'industrie, qui est heureux d'apporter, à l'occasion, son mince bagage de matériaux à l'édifice des chemins de fer en construction, nous nous sommes contenté de donner à notre procédé la publicité qui nous a semblé le mieux convenir à notre caractère et à nos antécédents; laissant au temps, le grand juge de toutes choses, le soin de fixer le moment opportun pour l'application de notre découverte.

Ainsi, nous avons entretenu isolément, de notre système, une dizaine d'ingénieurs, haut placés dans les chemins de fer et dans l'industrie, dont quelques-uns font partie de cette Société; nous cherchions des contradictions, nous n'avons reçu que des encouragements; donc, si nous nous sommes trompé, il nous restera la consolation d'avoir commis l'erreur en bonne compagnie, puisqu'elle aura été partagée par plusieurs ingénieurs de mérite, réunissant la science à la pratique.

M. Eugène Flachat a encore en sa possession le dessin du nouvel appareil que nous lui avons remis, le *seize septembre mil huit cent cinquante-neuf,* dans l'espoir que cette solution pourrait intéresser l'illustre ingénieur, au moment où il s'occupait des premières études relatives à son intéressant travail du passage des Alpes par un chemin de fer à ciel ouvert.

N'ayant eu en vue aucun intérêt spéculatif, nous croyions avoir donné suffisamment de publicité à notre découverte pour nous en assurer l'honneur. Cependant, un honorable et savant ingénieur du Corps Impérial des Ponts-et-Chaussées, ayant, dans ces derniers temps, proposé une solution identique du même problème, après s'être fait breveter à la date du *vingt-cinq février mil huit cent soixante,* nous nous sommes rendu aux sollicitations de nos

amis, qui nous ont vivement engagé à rompre le silence que nous nous étions imposé. Nous venons, en conséquence, soumettre notre nouveau procédé d'accouplement à l'examen des membres de la Société des Ingénieurs Civils, non-seulement, dans le but de revendiquer la priorité de la découverte, qui, du reste, ne nous est pas contestée, mais encore pour le motif beaucoup plus élevé d'en faire juger le mérite ; car, si, comme il y a lieu de le croire, le nouveau procédé est reconnu efficace, il clôt définitivement l'ère des recherches d'une bonne machine articulée, et supprime l'obstacle qui s'opposait, depuis si longtemps, à l'extension indéfinie de la puissance des locomotives.

III.

Description de l'accouplement des essieux convergents, au moyen de bielles rigides obliques, combinées avec un levier d'oscillation compensateur.

Soit PL. 14 (Fig. 1), A, *a*, *b*, *c*, *d*, et A′, *a*′, *b*′, *c*′, *d*′, les circonférences décrites par les boutons de manivelles A*a* et A′*a*′, autour des axes d'essieux AA′. Soit B le centre d'un axe maintenu constamment à égale distance des centres d'essieux AA′. (Ce résultat s'obtient de plusieurs manières, nous en indiquons un moyen dans notre dessin.) Soient *e* et *f* les deux extrémités d'un levier pouvant se mouvoir sur l'axe B, et dont chacun des bras de levier *e*B et B*f* est plus grand que la longueur des manivelles A*a*, A′*a*′. Soit enfin *af* et *a*′*e*, les bielles qui réunissent les extrémités du levier aux boutons de manivelles.

Si on suppose le système en mouvement de droite à gauche, on voit que les extrémités *e* et *f* du levier *e*B*f*, entraîné par les bielles, décrivent deux arcs de même longueur et symétriques par rapport à la verticale qui passe par le centre B de l'axe du levier.

Si, ensuite, on compare chacun des éléments de la circonfé-

rence décrite par l'une des manivelles Aa, avec les éléments de la circonférence décrite par l'autre manivelle Aa', dans le même temps, on trouve qu'ils sont égaux. On peut donc en conclure que l'entraînement a lieu comme dans l'accouplement ordinaire.

Les points morts des manivelles, qui correspondent aux extrémités de course des pistons, sont également indiqués, sur l'arc décrit par les extrémités du levier compensateur, par les plus petits éléments d'arc, situés aux fins de course du levier. De même, les points énergiques des manivelles, placés à angle droit par rapport aux points morts, et qui correspondent avec le milieu de la course des pistons, sont également indiqués, sur l'arc décrit par le levier, par les grands éléments de l'arc, situés au milieu de la course du levier. Les points morts ou énergiques des manivelles, correspondant aux mêmes points de notre levier, on peut également en conclure que l'effort des pistons, pour vaincre l'adhérence, est transmis de la même manière que dans l'accouplement ordinaire.

La fig. 1, que nous venons d'examiner, représente le tracé géométrique du nouvel accouplement, sur l'un des côtés de la machine, placée sur une voie droite; dans ce cas, tous les essieux restent parallèles.

La fig. 2, que nous allons examiner, représente le tracé de l'accouplement d'une machine, placée dans une courbe et du côté faisant face au centre de la courbe. Dans ce cas, les trucks de la machine se disposant parallèlement à la courbe de la voie, les deux essieux les plus rapprochés de l'axe d'oscillation B, des différents trucks, cessent d'être parallèles; les extrémités des essieux du côté du rail intérieur se rapprochent, et celles du côté du rail extérieur s'éloignent.

Dans cette position de la machine, l'entraînement a lieu comme dans la figure précédente : l'arc décrit par l'une des extrémités du levier eBf, est le même que celui décrit par

l'autre extrémité; seulement, les angles formés par les positions extrêmes des bras de levier, bien qu'égaux entre eux, cessent d'être symétriques par rapport à la verticale passant par l'axe B du levier, qui, dans la fig. 1, se trouvait être la bissectrice des angles formés par les positions extrêmes des bras de levier. Les arcs de cercle, décrits par les extrémités des bras de levier, commencent ou finissent un peu plus tôt ou un peu plus tard, suivant le sens du mouvement, voilà toute la différence. En effet : les centres des essieux AA' s'étant rapprochés d'une certaine quantité, et les bielles *af*, *a'e* n'ayant pas changé de longueur, les extrémités des bras de levier d'oscillation ont été entraînées à commencer et à finir leur course en des points différents de leur course normale, en ligne droite, correspondant précisément à la quantité de distance dont les essieux se seront rapprochés.

Et, comme le centre de l'axe B n'a pas varié, la différence de parallélisme des essieux se trouve compensée ou perdue dans le mouvement retardé ou avancé des bras du levier d'oscillation compensateur.

Nous croyons devoir joindre (PL 14) un dessin d'ensemble de l'appareil d'accouplement, pour montrer plus clairement la disposition et le jeu des pièces du mécanisme.

IV.

Wagons à marchandises.

La nouvelle machine à marchandises, dont nous venons d'énumérer les dispositions principales, pourrait, avons-nous dit, remorquer des trains de mille à douze cents tonnes brutes, sur des rampes de 0,005 par mètre. Elle devrait, selon nous, donner toute garantie de puissance et de flexibilité, pour les chemins à établir dans les pays accidentés, où les fortes rampes et les

courbes à petits rayons sont les conditions indispensables de leur tracé économique. Nous ne croyons pas, néanmoins, que l'emploi d'une semblable machine doive convenir exclusivement aux chemins tracés dans les pays de montagnes : nous prétendons qu'elle doit être fructueusement employée sur les chemins ordinaires, et principalement sur ceux dont le trafic est très-développé. Toutefois, l'emploi de cette puissante machine, avec le matériel actuel, offrirait plusieurs inconvénients faciles à prévoir.

Bornons-nous à en indiquer les principaux :

1° Il faudrait remplacer l'attelage des wagons actuels, qui est évidemment trop faible pour résister à un effort de 10 à 12,000 kilogrammes de traction ;

2° La longueur démesurée que pourraient atteindre les trains augmenterait encore la décomposition de l'effort de traction, déjà assez considérable dans les courbes ;

3° Le personnel actuellement employé pour la conduite des trains devrait être conservé, sinon augmenté ;

4° La longueur actuelle des voies de garage serait insuffisante pour contenir les trains de matériel existant, remorqués par la nouvelle locomotive ;

Enfin, l'emploi de notre machine occasionnerait encore aux Compagnies d'autres frais, que nous voulons éviter.

Notre but n'est pas de bouleverser l'ordre de choses établi dans le matériel actuel des Compagnies de chemins de fer ; nous conservons le matériel existant, tel quel, parce que nous le trouvons nécessaire, indispensable à l'exploitation, comme nous la comprenons.

Nous voulons créer un nouveau matériel à côté de celui qui existe, pour lui venir en aide au fur et à mesure des besoins qui ne peuvent manquer de se produire tôt ou tard. Ce matériel serait spécialement destiné au transport des marchandises encombrantes, parcourant de grandes distances.

La longueur totale des lignes concédées aujourd'hui aux grandes Compagnies est d'environ seize mille kilomètres, dont la moitié, à peu près, est en exploitation; il reste donc à construire encore sept à huit mille kilomètres.

Nul doute que l'exploitation des lignes à construire ne soit moins productive que celle des lignes qui sont déjà construites, surtout si l'on considère seulement les recettes provenant des marchandises circulant sur ces nouvelles lignes. Mais ces marchandises ne s'arrêteront pas aux points de jonction des lignes secondaires avec les lignes principales; elles viendront nécessairement s'ajouter à celles des grandes lignes et grossir leur trafic. De même que les rivières se jettent dans les fleuves dont les eaux, grossies par ces affluents, débordent et occasionnent des inondations désastreuses quand les débouchés sont insuffisants; de même les lignes secondaires, deversant leurs produits sur les lignes principales, pourront accasionner des encombrements de trains, qu'il sera difficile d'éviter avec les moyens actuels d'exploitation. C'est pour parer à de telles éventualités, et surtout en vue de diminuer les frais d'exploitation; c'est enfin pour rendre accessible, à certaines marchandises, le transport aujourd'hui relativement trop coûteux des chemins de fer, que nous proposons un matériel supplémentaire, pouvant contenir *trente tonnes utiles par wagon* supporté par quatre essieux.

Ce matériel à 30 tonnes serait spécialement affecté, sur les grandes lignes de chemins de fer, à la composition de trains directs d'au moins 1,000 tonnes de marchandises, parcourant de grandes distances, ne s'arrêtant qu'aux gares principales, pour recueillir en bloc les produits des lignes secondaires ou des gares intermédiaires de moindre importance. L'ancien matériel à cinq et dix tonnes utiles est nécessaire, dans tous les cas, pour desservir les gares d'un faible trafic. Il sera donc judicieusement et fructueusement employé à l'exploitation des lignes secondai-

res, et à la formation de trains omnibus desservant les petites gares des lignes principales. Il remplirait, enfin, l'office des charrettes pour camionner, jusqu'à une gare principale, les marchandises à destination de points éloignés et provenant de lieux de production peu importants.

La marchandise serait transportée directement, du lieu d'expédition à destination, dans les wagons à faible tonnage, toutes les fois qu'il n'y aurait pas une économie sérieuse, à cause de la distance, à opérer le transbordement dans les wagons à trente tonnes. Cette opération aurait l'avantage de simplifier le travail des agents employés à l'expédition et à la reconnaissance des marchandises, en réunissant sur une seule feuille d'expédition le chargement de plusieurs wagons, qui serait contenu dans un seul.

Ennemi, en principe, de toute innovation qui ne saurait s'appuyer sur un jugement sain et sur des considérations majeures d'intérêt public, ou mieux sur des faits incontestables, déjà sanctionnés par le temps, nous ne croyons heurter aucun préjugé, en proposant de porter le chargement des wagons à 30 tonnes.

Puisque l'obstacle naturel qui s'oppose au chargement d'un essieu à volonté est la limite de la résistance du fer employé sous la forme de rails et de bandages; que cette résistance à l'écrasement a pour mesure pratique cinq à six kilogrammes, et que cette limite est observée, dépassée et outrepassée tous les jours, sur les essieux des machines et des tenders, nous ne voyons pas de raisons qui empêchent de généraliser cette mesure, et de l'appliquer aux essieux de wagons.

Notre innovation technique, quant au matériel de wagons, se résume donc à faire supporter aux nouveaux essieux une augmentation de charge de 2,500 kilogrammes, ou 1,250 kilogrammes par chaque fusée; c'est-à-dire qu'au lieu d'être chargés de 7,500 kilogrammes environ, comme dans le matériel actuel,

les nouveaux essieux, appropriés au matériel de trente tonnes, supporteront 10,000 kilogrammes chacun.

Une explication est nécessaire pour indiquer les raisons qui nous ont semblé devoir militer en faveur du chargement à trente tonnes, au lieu de quinze, vingt ou vingt-cinq tonnes, si nous ne voulons pas être accusé, avec juste raison, d'avoir adopté un chiffre au hasard. Il est évident que l'augmentation du tonnage ne peut être obtenue sans augmenter la capacité des wagons; les dimensions des véhicules étant forcément limitées, en hauteur et en largeur, par les travaux d'art, il reste seulement la longueur comme ressource, pour augmenter le volume. Or, nous nous sommes dit : En faisant supporter à deux essieux le poids de vingt tonnes, qui ne saurait être dépassé sans imprudence, il n'en faudrait pas moins allonger le wagon d'un tiers, et par suite, la distance entre les essieux ; mais, cet entraxe d'essieux a déjà atteint sa dernière limite, pour la facilité de la circulation dans les courbes; et la faible augmentation du tonnage de cinq tonnes, qui en résulterait, serait insuffisante pour compenser les frais d'une modification du matériel.

Il y avait ensuite à examiner le tonnage utile de vingt à vingt-cinq tonnes, qui aurait pu être contenu dans un wagon supporté par trois essieux, chargés chacun du poids maximum de dix tonnes, que nous avons admis comme limite; mais ces trois essieux n'auraient pu être fixes, à cause de l'énorme distance des axes extrêmes, les deux essieux extrêmes auraient donc dû être mobiles, pour le passage dans les courbes; nous avons reculé devant une solution sans précédent, aussi nouvelle et aussi grosse de difficultés. Nous nous sommes donc arrêté au tonnage utile de trente tonnes, portées par un wagon à quatre essieux, mobiles deux à deux, par suite de leur disposition, sous deux trucks articulés. Ce véhicule a au moins le mérite d'être sanctionné par une longue pratique sur les chemins étrangers. Le poids du nouveau

wagon, avec son complet chargement, serait d'environ quarante tonnes.

Le chargement des wagons, étant sensiblement proportionnel aux surfaces du fond ou plancher, les nouveaux véhicules devront avoir 40 à 50 mètres de surface, correspondant à une longueur de 15 à 20 mètres.

La caisse de ces wagons reposera sur deux trucks articulés à deux essieux chacun, suivant le système dit américain, employé aux Etats-Unis, en Allemagne, en Suisse et ailleurs.

Convaincu, depuis longtemps, que deux espèces de wagons, les uns couverts, les autres plats, doivent suffire au transport de toutes les marchandises, de quelque nature qu'elles soient, notre matériel se composera exclusivement de ces deux séries de wagons à marchandises. Le poids des wagons couverts ne devant pas dépasser dix tonnes vides, et les wagons plats ne devant pas peser plus de huit tonnes, le rapport entre le chargement utile transporté et le poids mort du wagon sera :: 3 : 1. En d'autres termes, le chargement utile sera plus des trois quarts du poids total du train remorqué.

En abordant cette grosse question de la réforme du matériel actuel des grandes lignes de chemins de fer, comme conséquence de la nouvelle phase d'exploitation à inaugurer, par suite de l'adoption d'une machine puissante articulée, nous ne nous sommes pas dissimulé la vive opposition qu'elle rencontrerait; mais, animé de la conviction profonde que, tôt ou tard, les idées que nous soulevons, étant de principe élémentaire, prévaudront contre l'esprit de dénigrement, nous avons poursuivi notre œuvre en répétant : « Fais ce que dois, advienne que pourra. »

Parmi les nombreuses critiques qui ne peuvent manquer d'être faites au nouveau système de matériel que nous patronnons, nous nous contenterons d'examiner et de refuter, dans la limite de nos connaissances, les objections qui se présentent natu-

rellement à l'esprit des principaux agents des divers services intéressés, qui concourent à l'exploitation des chemins de fer ; savoir :

1° Le service de l'exploitation commerciale ou du trafic ;

2° Le service du mouvement et des gares ;

3° Le service de l'entretien et de la surveillance de la voie ;

4° Enfin, le service de l'entretien du matériel et de la traction.

L'objection la plus sérieuse, et qui est peut-être la plus généralement accréditée, concerne le service du trafic ; c'est celle-ci : Il est déjà très-difficile aujourd'hui d'obtenir la charge de dix tonnes par wagon, c'est à peine si la charge réelle atteint cinquante pour cent ou la moitié de la charge normale ; comment espérer d'utiliser la capacité de trente tonnes par wagon, que vous proposez ? Cette objection, quoique sérieuse, n'est pas nouvelle, elle a été combattue bien des fois, et spécialement à l'époque où il fut question de porter le chargement des wagons au double de ce qu'il était, c'est-à-dire de cinq à dix tonnes ; cependant, le temps a donné raison au promoteur de l'augmentation du chargement, car, si faible que soit, en apparence, la charge réelle de cinquante pour cent, elle est encore bien supérieure à celle qui existait, il y a moins de dix ans, avec l'ancien matériel du tonnage de cinq tonnes, qui n'était guère que de vingt-cinq à vingt-huit pour cent de la charge normale.

L'ancien matériel est tellement abandonné, que depuis cinq ou six ans il n'est pas arrivé à notre connaissance qu'un seul wagon, comportant cinq tonnes de chargement, ait été commandé par une Compagnie.

Espérons qu'il en sera de même, avant peu, du matériel à dix tonnes.

Mais il ne faut pas perdre de vue que notre gros matériel doit être spécialement affecté à une catégorie de marchandises

qui n'a encore été que timidement admise par les compagnies, faute de pouvoir la transporter à un prix suffisamment rémunérateur ; nous voulons parler des matières premières encombrantes, d'une faible valeur intrinsèque, telles que matériaux de construction, engrais, produits agricoles de nature spéciale, approvisionnements d'usines, etc ; qui sont restées du ressort presque exclusif de la navigation. Nous demandons si le matériel de bateaux employé au transport de ces marchandises, sur les canaux, est défectueux à cause de son tonnage, qui, cependant, est cinq ou six fois plus considérable que celui des wagons que nous proposons? Non, n'est-ce pas ? Donc, l'objection que nous combattons tient plutôt à un préjugé qu'à des faits pratiques irréfutables ; du reste, des compagnies de chemin de fer, placées en concurrence avec les canaux, pour le transport de certaines marchandises, luttent depuis longtemps avec la navigation ; nul doute que la lutte ne se continue plus avantageusement avec un matériel plus économique.

C'est vous, messieurs de l'exploitation, qui tenez dans vos mains l'avenir de notre industrie nationale des chemins de fer, vous pouvez beaucoup oser, parce que vous appartenez au service qui rapporte, tandis qu'on est exigeant pour ceux qui dépensent. Arborez donc hardiment le drapeau du progrès, et tous les autres services se grouperont autour de vous, pour le défendre.

Les objections émanant des autres services, étant purement techniques, nous nous sentons mieux à l'aise pour les disculer. Les agents du mouvement, qui comprennent dans leurs attributions le service des gares, feront valoir les difficultés de manœuvrer un matériel aussi lourd, soit sur les voies, soit sur les plaques tournantes. Nous ferons observer que depuis plusieurs années, depuis surtout la généralisation de l'emploi du matériel à dix tonnes, les machines tendent à se substituer, dans toutes les gares importantes, à l'ancienne méthode qu'on employait de manœu-

vrer les wagons à bras, si dispendieuse pour les compagnies, si dangereuse et si fatigante pour les hommes, et souvent trop lente pour l'accélération du service, qu'enfin, les gros wagons ne devant desservir que les gares de premier ordre, les machines de gare seront toujours là pour les manœuvrer; que, du reste, s'il s'agissait de rapporter la dépense de la manœuvre à bras au tonnage contenu dans l'un ou l'autre système de matériel, l'avantage serait encore au gros matériel. Quant à ce qui concerne la manœuvre sur les plaques tournantes, tout le monde sait que les wagons articulés se tournent en deux fois, sur les plaques ordinaires, avec autant de facilité que les wagons à essieux parallèles.

Nous nous attendons à ce que les ingénieurs, chargés de l'entretien et de la surveillance de la voie, viennent nous dire: « Votre gros matériel éreintera notre voie, et la durée des rails en sera relativementl imitée. » Cetargument, par trop général, demande à être précisé et divisé pour être réfuté dans ses parties; selon nous, la fatigue de la voie est de deux natures différentes, l'une anormale, résultant d'efforts à faire subir aux rails, supérieurs à ceux qu'ils doivent supporter, par suite des conditions de résistance pour lesquelles ils ont été calculés; l'autre, naturelle, est due à l'usure régulière du passage des trains. Or, la pression de chacun des essieux de notre gros matériel sur le rail est inférieure à celle qu'exerce un esssieu de locomotive moyennement chargé; de plus, les wagons étant articulés, les essieux venant se placer normalement aux courbes de la voie, et la distance d'axe en axe de ces essieux étant de beaucoup inférieure à celle des essieux fixes du matérie actuel, l'effort et, par suite, le frottement des boudins des roues contre le rail, dans les courbes, se trouveront sensiblement diminués; donc la fatigue et l'usure anormale seront plutôt atténuées qu'augmentées.

Quant à l'usure naturelle et régulière de la voie, due au frottement des roues sur le rail, par le passage ordinaire des trains,

nous demanderons qu'il soit prouvé que le passage unique du gros wagon de quarante tonnes usera davantage le rail que trois passages successifs d'un wagon de quinze tonnes; dans notre opinion , l'usure des voies devrait plutôt être attribuée à la fréquence des trains qu'au poids des véhicules, dont la charge sur chaque essieu ne dépasse pas d'ailleurs la limite de dix à douze mille kilogrammes. La réfection des voies sur les chemins de Versailles, Saint-Germain et autres, fréquemment parcourus par des trains, tendrait à justifier la justesse de notre opinion.

Quant au service du matériel et de la traction, dans lequel nous nous honorerons toujours d'avoir passé les dix plus belles années de notre vie, nous manquerions de conséquence avec nos idées, si nous prévoyions que l'adoption de notre nouveau matériel dût apporter quelque perturbation dans cet important service; nous espérons au contraire, une amélioration sensible dans les dépenses de ce service, qui coûte le plus, en les rapportant, bien entendu, à la tonne de marchandise transportée à un kilomètre; ainsi nous comptons sur une économie dans les éléments de dépenses suivants: sur le combustible consommé dans un foyer unique de chaudière à grande surface de chauffe, sur une réduction du personnel employé à la conduite des machines, enfin, sur une plus faible dépense d'entretien du matériel, basée sur un moindre nombre de véhicules à réparer.

V.

Comparaison.

Ce travail, déjà un peu long, a été fait en vue de soulever la question de principe relative au nouveau matériel que nous proposons; nous ne voulons pas l'allonger encore, pour en démontrer la facile application. Nous ne voulons pas non plus nous laisser entraîner dans la recherche de toutes les économies qui

devraient résulter de l'emploi de notre nouvelle machine pouvant remorquer un train de mille à douze cents tonnes, et de l'adoption du nouveau matériel à 30 tonnes. Nous nous contenterons de signaler la plus saillante, nous voulons parler de celle qui résulte, purement et simplement, de l'augmentation du rapport entre le poids utile transporté, dans le nouveau matériel, et le poids total remorqué. Pour cela nous comparerons un train de 1000 tonnes remorqué par notre machine, et composé de 25 wagons pesant 40 tonnes, avec deux trains de 500 tonnes composés de wagons ordinaires pesant 15 tonnes.

En supposant toutes choses égales d'ailleurs, c'est-à-dire en laissant de côté les économies qui doivent être réalisées, dans la dépense kilométrique d'un train, soit dans la diminution du combustible consommé dans le foyer unique d'une machine à grande surface de chauffe, soit dans l'entretien d'un nombre moindre de véhicules, soit dans le personnel employé dans la conduite du train, etc., etc., en tenant seulement compte de l'augmentation de la marchandise payante transportée, on a, dans le cas des deux trains de 500 tonnes chacun, savoir :

Pour 1000 tonnes remorquées dans deux trains composés de 67 wagons, contenant 670 tonnes utiles à 0,05 centimes par tonne et par kilomètre, une recette totale kilométrique de.	33 fr. 50
Dans le cas d'un seul train de 1000 tonnes;	
Pour 1000 tonnes remorquées dans un train composé de 25 wagons, contenant 750 tonnes utiles, à 0,05 centimes par tonne et par kilomètre, une recette totale kilométrique de.	37 50
Soit comme différence en faveur du train unique.	4 fr. 00

Or, si le prix de 0,05 centimes est suffisamment rémunérateur, comme nous avons admis, d'ailleurs, la même dépense dans le

deux cas, en divisant la recette kilométrique des deux trains de 500 tonnes chacun, par le tonnage utile transporté par notre train unique de 1000 tonnes, on trouve 0 fr. 044 environ; c'est-à-dire qu'avec le train unique on peut transporter à un demi-centime de moins par tonne et par kilomètre, tout en réalisant les mêmes bénéfices qu'avec les deux trains.

VI.

Conclusions.

L'économie qui doit résulter de l'adoption de notre nouveau système, en la rapportant au tonnage remorqué, devrait s'énumérer comme suit :

1° Sur le prix d'acquisition première du matériel ;

2° Sur une diminution dans la consommation du combustible ;

3° Sur une plus faible dépense d'entretien du matériel;

4° Sur une réduction du personnel des trains ;

5° Sur l'augmentation du poids utile transporté.

Cette dernière économie se traduit déjà par un demi-centime par tonne transportée à un kilomètre; nous ne croyons pas être exagéré en évaluant à un centime l'économie totale résultant de l'ensemble.

Il est important que quelqu'un profite de cet avantage ; que ce soient les actionnaires ou les expéditeurs, le public qui est en même temps actionnaire, expéditeur, et avant tout consommateur, ne peut manquer d'applaudir à une solution qui peut entrer comme élément dans le fameux problème de la vie à bon marché.

RECHERCHES

Sur les lois expérimentales du tassement des remblais

PAR

M. CARVALLO

Ingénieur des Ponts-et-Chaussées

A la fin du chapitre 2 de notre Mémoire sur les formes et les dimensions des profils de terrassements propres à rendre la dépense la plus petite possible et la stabilité la plus grande, nous avons annoncé, de la manière suivante, le travail que nous publions aujourd'hui.

« Il est encore une précaution pratique applicable à toutes les « solutions qui précèdent, et qui doit être prise dans tous les « ateliers de terrassement, nous voulons parler de la nécessité « de tenir compte du tassement des remblais dans l'exécution « des profils.

« Pour arriver à un profil déterminé, après le tassement, « il est nécessaire d'adopter, au moment de l'exécution, un « profil renflé et surélevé dans certaines proportions, qui se « réduit au premier par l'effet du tassement naturel sous les in- « fluences multiples de la circulation, de la pluie et des alterna- « tives dans l'état hygrométrique de l'atmosphère et du rem- « blai.

« Cet exhaussement a pour effet réel d'élever le centre de

21

« gravité du profil au moment du travail, et, par conséquent, « d'augmenter les distances de transport. C'est donc sur le profil « augmenté que devraient être basés les calculs de la dépense « et ceux des formes *minimant* cette dépense.

« Les coëfficients de tassement varient entre des limites assez « étendues, suivant le *mode de confection* des remblais et suivant « la *nature* des terres qui le composent.

« Nous nous proposons de faire connaître, dans une note « spéciale, une longue série d'expériences que nous avons faites « sur les tassements, série d'où nous avons déduit les lois ex- « périmentales du phénomène et les valeurs de quelques coëffi- « cients. »

La question des tassements des remblais est l'une de celles qui ont été le moins étudiées ; elle a pourtant de l'importance pratique.

Nous connaissons certains chemins de fer construits en remblai, à travers des plaines sablonneuses, dont le profil supérieur avait été relevé de près d'un mètre en vue des tassements supposés dont on ignorait la véritable loi; on a dû plus tard faire de grandes dépenses pour ramener ces remblais, en les écrêtant, à la hauteur qu'ils devaient définitivement atteindre.

Dans une autre contrée, nous avons, non sans étonnement, entendu un ingénieur, nouvellement nommé par une Compagnie à un emploi très-important, énoncer l'idée que des terrassements, soit de déblais, soit de remblais, ne pouvaient pas être mal faits; c'était, disait-il, une dépense inintelligente que celle faite pour relever le profil de certains remblais en terre douce, limoneuse, parfaitement dépouillée de tout sable ou caillou, et provenant des dépôts successifs des débordements à l'embouchure d'un fleuve.

Il est vrai que, peu de mois après l'énoncé de ces théories, des accidents graves et des arrêts complets survenaient dans la marche des trains, par suite d'éboulements ou de tassements qu'on eût dû prévoir et prévenir.

L'ingénieur qui exhaussait sans utilité les remblais de sable graveleux, et celui qui interdisait l'exhaussement des remblais de terre douce, argileuse, provenant des alluvions, avaient également tort, et ces fausses manœuvres eussent été évitées par une connaissance antérieure des lois expérimentales du tassement de ces terres.

De graves accidents survenus pendant l'exploitation des chemins de fer, par suite de tassements considérables, sur des remblais fraîchement achevés, auraient également pu être évités.

Tous ces faits, et bien d'autres qu'il serait trop long de citer, nous semblent de nature à donner de l'intérêt aux recherches expérimentales dont nous allons faire connaître les résultats.

Quand on parcourt au bout de quelques mois, surtout après les mois de pluies d'automne et de printemps, les remblais récemment achevés et réglés, on est frappé du désordre qui s'est produit, de la déformation des profils, des érosions des talus.

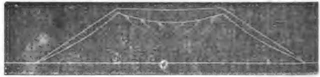
Les effets sont sensiblement différents suivant les précautions observées dans la confection des remblais, et suivant les instructions données pour le réglement rationnel du profil.

Ainsi, par exemple, quand le remblai, par le fait d'une méthode vicieuse, de l'ignorance des agents, ou de l'incurie des chefs, a été construit d'une seule couche occupant toute la hauteur, sur une voie centrale de roulement, et par des élargissements de toute hauteur pour former la plateforme et les talus, le profil normal est déformé après quelques jours de pluie, comme nous l'indiquons dans la figure ci-dessous.

La ligne limite extérieure s'est abaissée beaucoup plus sur

les côtés de la voie qu'au centre; des fissures parallèles à l'axe longitudinal, ayant des inclinaisons diverses sur l'axe vertical, s'ouvrent dans toute l'étendue du remblai et deviennent des causes de destruction rapide en facilitant l'enlèvement des terres par les pluies successives, si un bon entretien ne vient y porter un prompt remède.

Au contraire, quànd le remblai a été fait avec intelligence et avec soin, par couches horizontales s'étendant sur toute la largeur tant des talus que de la voie, n'ayant pas chacune plus de 30 à 40 centimètres de hauteur; quand on a pris, en outre, la précaution d'empêcher les eaux de circuler longitudinalement sur la voie ou sur les talus par des réglements provisoires des surfaces, en attendant l'achèvement de la voie et sa mise en circulation, les tassements prennent une autre forme indiquée ci-dessous.



La ligne limite extérieure s'est encore abaissée, mais beaucoup moins que dans le cas précédent; les fissures longitudinales sont remplacées par des fissures en cuvettes ellipsoïdales, dont le grand axe est tantôt, et le plus fréquemment, longitudinal, tantôt transversal à la voie; les talus ne sont pas dégradés et sont très-résistants.

L'expérience que nous avions acquise de ces déformations dans nos grands travaux de terrassements aux abords du viaduc de la Bouzanne, près d'Argenton, dont la hauteur atteint 26 mètres, et dans les grands remblais entre Argenton et la Souterraine, dont quelques-uns ont plus de 19 mètres d'élévation, nous avait donné le désir d'établir, par des observations systématiques, les lois expérimentales de ces phénomènes.

Digitized by Google

Quand, plus tard, nous fûmes chargés par la Compagnie du Midi de l'exécution de la section comprise entre les environs de Carcassonne et ceux de Narbonne, et en même temps du chemin de fer de Narbonne à Perpignan, nous nous empressâmes d'organiser un ensemble d'observations s'étendant sur les 120 kilomètres qui forment la totalité du parcours.

Vingt agents surveillant la confection des terrassements devinrent vingt expérimentateurs chargés de relever de quinzaine en quinzaine les profils d'observations.

Ils furent munis de feuilles imprimées, exclusivement destinées aux expériences sur le tassement et faisant connaître la section, la subdivision et le nom de l'opérateur.

Ces feuilles étaient divisées en colonnes donnant la date de l'opération, le numéro du piquet hectométrique, la nature du remblai, le mode de confection, le dessin des profils successifs levés de quinzaine en quinzaine, enfin les observations de l'agent sur les accidents météorologiques principaux de la quinzaine.

L'opérateur indiquait les profils pour lesquels les terres avaient été régalées par couches. Sa feuille dressée, certifiée sincère et signée par lui, était envoyée au bureau central.

Ces vingt observateurs ont ainsi relevé 1480 profils comprenant 7400 hauteurs de tassement linéaire; chaque hauteur était mesurée 4 fois, ce qui a donné lieu à 29600 observations au niveau à bulle d'air.

C'est de l'ensemble de ces observations qu'ont été déduites, comme nous allons le dire, les lois expérimentales du tassement des remblais.

Les feuilles de chaque opérateur étaient, après vérification, rapportées sur un cahier, à la suite les unes des autres, et à leur date, de manière à faire connaître les tassements successifs, ou, pour être plus exact, les variations successives des hauteurs de chaque point observé de quinzaine en quinzaine.

Ces observations et ces relevés ont duré pendant les années 1854, 1855 et 1856; ayant été appelé à cette époque à faire la canalisation de l'Ebre, fleuve que nous avons pu ouvrir à la navigation à vapeur sur 270 kilomètres, les observations ont été interrompues; mais, dans l'état où elles étaient arrivées, elles permettent de découvrir les lois du phénomène, et de déterminer certaines valeurs numériques, applicables dans la région de la France où nous avons fait nos observations et dans les climats analogues.

Guidé par la pensée théorique qui résulte visiblement des termes de notre mémoire cités plus haut, nous avions recherché les coëfficients de tassement linéaire de chaque profil et le coëfficient de tassement superficiel, afin de déterminer les lois qui pouvaient les lier entre eux.

Le premier de ces coëfficients était défini par le rapport de la différence des hauteurs primitive et finale à la hauteur finale.

Le second était le rapport de la différence des surfaces ou sections du profil primitif et du profil final à la section finale.

Nous avons résumé, dans un tableau, toutes les expériences et observations, en donnant dans deux colonnes les coëfficients de tassement linéaire et les coëfficients de tassement superficiel.

Ce dernier tableau était, lui-même, résumé par mode de confection et par nature de terrain, dans un tableau final.

Aucune autre loi simple que la suivante n'est résultée de ce travail :

Le coëfficient de tassement linéaire est supérieur au coëfficient de tassement superficiel.

Une autre indication ressortait de ce tableau :

Le coëfficient de tassement linéaire, variable avec la nature du remblai, variable avec le mode de confection, se trouvait aussi très-variable avec la hauteur du remblai, et il diminuait notablement quand la hauteur du remblai augmentait.

Ces grandes variations nous donnèrent à penser que le tassement linéaire pouvait être ou une fonction linéaire de la hauteur, ou une quantité constante.

Pour vérifier cette première déduction, nous avons résumé la totalité des observations dans un nouveau tableau faisant connaître, avec les éléments précédents, la durée de l'observation, si elle était achevée, presque achevée ou interrompue au bout d'un certain nombre de mois; ce tableau donnait dans des colonnes rapprochées :

La hauteur moyenne de la plateforme,
La hauteur moyenne des piquets des talus,
Le tassement linéaire moyen de la plateforme,
Le tassement linéaire moyen des talus.

Sous cette forme, les tableaux ont promptement révélé les lois expérimentales du tassement des remblais, dans les limites de hauteur pour lesquelles les observations ont été faites pour la région de la France à laquelle s'appliquent les observations, et avec le degré de régularité qu'on peut demander à des phénomènes aussi complexes et aussi variables.

Nous avons déjà dit que nos expériences se sont étendues depuis Carcassonne jusqu'au delà de Narbonne, sur une longueur de 63 kilomètres, et de Narbonne à Perpignan, sur une longueur de 64 kilomètres.

La région à laquelle s'appliquent les lois trouvées, et dont nous allons parler, est celle des plaines et plateaux inférieurs, compris entre le méridien de Carcassonne, à l'ouest; l'Aude, au nord; la Méditerranée, à l'est; et la Tet, au sud.

Il est nécessaire, pour bien comprendre la valeur d'application de ces lois, de connaître les circonstances météorologiques assez particulières dans lesquelles le pays traversé se trouve placé.

Nous extrayons les détails suivants d'un mémoire imprimé

que nous avons présenté au ministère des travaux publics au mois d'août 1853, à l'appui de nos projets.

« Entre Carcassonne et Narbonne, la quantité annuelle de pluie qui tombe forme une couche dont la hauteur totale varie de 85 à 55 centimètres, de l'une à l'autre ville. Cette couche annuelle est peu considérable. mais elle tombe et s'écoule en quelques heures dans les mois d'avril ou de septembre, ce qui explique la violence des torrents et le danger de les longer.

« Les rosées sont très-abondantes, l'épaisseur totale annuelle est d'environ 9 centimètres. A certaines heures, elles maintiendront les rails humides et gras, même en dépit des causes de sécheresse dont nous allons parler.

« Les températures extrêmes qui ont été observées sur cette longueur varient depuis 16°,25 au dessous de 0 jusqu'à 35° centigrades à l'ombre. La première est exceptionnelle et très-rare, même à Carcassonne; la seconde a lieu très-fréquemment à Narbonne. On peut compter au soleil sur 48 ou 50°.

« Quelle que soit la saison, quelle que soit la température, il n'y a pas dans le pays de jour sans vent. Il souffle presque toujours avec assez de violence, et passe très-fréquemment à l'état d'ouragan.

« On ne reconnaît, sauf de légères différences, que deux sortes de vents :

« Le vent d'est, marin ou autan ; le vent d'ouest ou cers, qui plus loin, porte le nom de mistral.

« Sur 365 jours, le cers souffle pendant 240 jours, et le marin pendant 125. Le premier acquiert, à mesure qu'on s'avance vers la mer, une violence dont on ne peut se faire une juste idée. La force du second augmente progressivement en marchant vers Carcassonne.

« La permanence des deux vents cers et marin, la violence avec laquelle ils soufflent le plus souvent, ont leur cause prin-

cipale dans la disposition même de la zône que parcourt le chemin de fer.

« Si l'on porte les yeux vers le nord, le regard est arrêté à l'horizon par une suite de chaînons formant les dernières pentes du grand système des Alpes, qui, sous le nom de Montagne-Noire, se rapprochent successivement et viennent se souder au col de Naurouse.

« Si l'on regarde au sud, les neiges perpétuelles dessinent en blanc rosé l'arête culminante des Pyrénées, de laquelle on descend par une série d'échelons, de hauteur décroissante, dont les derniers, sous le nom de *Corbières*, se sont ouverts pour donner passage au Rebenti, à l'Orbieu et à l'Aude.

« C'est dans le département de l'Aude que se fait la soudure de ces deux immenses soulèvements dont le relief a déterminé celui de l'Europe, les Alpes et les Pyrénées.

« Le col de Naurouse est le point de rencontre duquel partent deux demi-cônes s'élargissant, l'un à l'est, par la vallée de l'Aude, l'autre à l'ouest, par la vallée de la Garonne.

« Le premier reçoit et dirige, de l'est à l'ouest, tous les vents compris entre le nord-est et le sud-est (de 45° à 135° de la rose des vents); le second produit l'effet directement contraire.

« Il résulte de cet état de choses, constaté par tous les hommes spéciaux du pays qui se sont occupés de sa météorologie, que nous devons compter, pour l'exploitation de la ligne, sur la résistance des vents directement contraires, dont la vitesse, mesurée par quelques expériences approximatives, peut aller jusqu'à 20^m par seconde, et sera généralement comprise entre 10 et 16^m, c'est-à-dire sensiblement égale à celle d'un convoi en marche.

« Pour donner une juste idée de la vitesse du vent, il nous paraît utile de rappeler deux ou trois faits :

« Lors des opérations d'études, les instruments et les employés étaient fréquemment renversés par le vent.

« Le 20 mars notamment, une voiture chargée de sarments, passant sur le pont d'Ornaisons, fut jetée à une profondeur de 20m par-dessus le parapet sur lequel elle pivota, et qui porte encore les traces de cet accident.

« Le même jour, dix-huit voitures chargées de volailles ou de vins furent renversées en divers points de la route de Perpignan.

« Du reste, l'administration du contrôle est représentée dans le département par un ingénieur en chef qui, à un mérite rare, à une netteté et une précision de vues larges et droites, joint l'avantage d'être né dans le pays et de le connaître mieux que personne. Il exécute avec le plus grand soin et publie depuis plusieurs années, dans les Annales de la Société d'agriculture, une série d'observations météorologiques qui le mettent en mesure de vérifier l'exactitude des résultats précédents et de donner au Conseil général des Ponts-et-Chaussées un avis aussi éclairé qu'impartial.

« Le vent, contre lequel les ingénieurs doivent se prémunir pour le bon entretien des routes du département, sera donc l'un des obstacles de l'entretien et de l'exploitation du chemin de fer (1). »

Pour les autres régions, soit de la France, soit de l'Europe, soit de toute autre partie du monde, il serait nécessaire d'établir quelques séries d'expériences pour contrôler et vérifier les lois du tassement, et surtout pour déterminer les valeurs numériques applicables à chaque pays et qui peuvent varier avec les circonstances météorologiques et géologiques des différentes contrées.

Cela dit, pour renfermer les lois expérimentales trouvées par

(1) Depuis que ce Mémoire a été écrit, les journaux ont fait connaître que, dans les premiers mois de 1860, des trains ont été renversés par le vent. Près du village de Salces, des wagons, séparés violemment du train, ont été jetés sur le talus.

l'observation dans les limites exactes de leur valeur, nous allons passer à l'énoncé de ces lois.

1° *Loi du tassement suivant la hauteur des remblais, pour une même nature de terrain et pour un même mode de confection.*

Le tassement est constant pour des hauteurs observées ayant varié de $0^m,80$ à $6^m,10$, pourvu, toutefois, que la hauteur soit un multiple supérieur ou au moins égal à trois fois la valeur du tassement.

Nous n'avons pas d'expériences directes sur nos grands remblais de la Creuse ; il sera utile de vérifier si cette constance dans la valeur du tassement s'applique à des hauteurs supérieures à 6^m, ou si un terme nouveau, proportionnel à la hauteur et dont le coëfficient serait trop petit pour avoir une influence sensible au-dessous de 6^m, ne devrait pas être introduit dans la loi du tassement pour des hauteurs notablement plus grandes.

Au premier abord, la loi du tassement en fonction de la hauteur paraît surprenante, mais on se rend compte néanmoins de cette loi par la remarque suivante.

A mesure qu'un remblai s'élève, les couches inférieures, de plus en plus pressées par le roulement du transport de la partie supérieure et par le poids même de cette partie, tassent rapidement et atteignent un état d'équilibre stable qui n'est plus dérangé par les variations atmosphériques, parce qu'elles sont protégées contre ces variations par une couche suffisamment épaisse du remblai supérieur.

De telle sorte qu'il n'y a que cette couche supérieure d'une épaisseur sensiblement constante, pour une même nature de terrain et pour un même mode de transport, qui tasse et varie de hauteur pendant un certain temps pour atteindre un état d'équilibre tel que le tassement total est lui-même sensiblement constant.

Il est bien évident que, lorsque la hauteur du remblai s'abaisse

à la valeur même du tassement, elle ne se réduit pas à 0 et conserve une valeur finie après ce phénomène.

Nos expériences ne permettent pas de déterminer la loi du tassement pour les très-petites hauteurs égales ou inférieures à la valeur du tassement observé. Néanmoins, la forme des talus, celle des profils, et les observations faites sur les faibles hauteurs conduisent à penser qu'on peut, dans ce cas, considérer comme constant le coëfficient de tassement linéaire, tel que nous l'avons défini plus haut.

Ce n'est là, du reste, qu'une première approximation qui aurait besoin d'être vérifiée par des expériences faites dans ce but spécial, si cette loi pouvait présenter un intérêt pratique. Il est évident encore que cet intérêt n'existe pas du tout, car il est sans exemple qu'un accident soit arrivé par suite du tassement dans des remblais d'une très-faible hauteur.

2° *Loi du tassement, variable, pour une même nature de terrain, avec le mode de transport et les précautions prises dans la confection des remblais.*

Le tassement des remblais pour une même nature de terrain va en croissant, suivant que l'on emploie le tombereau, le panier et la brouette, la brouette seule, le wagon ; pour un même mode de transport, le tassement est plus grand pour des remblais faits en une seule couche que pour des remblais faits par petites couches.

3° *Loi du tassement, variable avec la nature des terrains, pour un même mode de transport.*

Le tassement des remblais, pour un même mode de transport, varie avec la nature du terrain et va en décroissant successivement quand ces terrains sont rangés dans l'ordre suivant :

1. Argile et terres fortement argileuses ;

2. Alluvions limoneuses, sans mélange de sable ni de cailloux ;

3. Terres argileuses avec mélange de graviers et pierrailles, terres végétales;

4. Terres très-caillouteuses, passant aux conglomérats;

5. Débris de rochers mêlés d'argiles terreuses;

6. Conglomérats de cailloux légèrement terreux;

7. Sables légèrement terreux;

8. Sables humides;

9. Sables;

10. Sable et gravier pur provenant du lit de la Tet.

Voici le tableau synoptique donnant les valeurs du tassement applicables aux remblais jusqu'à $6^{m},10$ de hauteur, suivant le mode de transport et la nature des terrains formant le remblai :

Mode de confection	Argile et terres très-argileuses	Alluvions limoneuses sans mélange de sable ni de cailloux	Terre argileuse avec gravier et pierraille; terre végétale	Alluvions de gravier et pierraille de l'Agly	Terre très-caillouteuse passant au conglomérat	Débris de rocher mêlés d'argile terreuse	Conglomérat de cailloux légèrement terreux et gravier terreux	Sables terreux	Sables humides	Sables de la plage	Sables et gravier pur de la Tet
Tombereau.	par couches 0,180 1 seule couche 0,550	»	0,215	$0^{m}195$	$0^{m}106$	$0^{m}135$	avec argile 0,103 avec terre 0,072	»	»	»	0,016
Brouette et panier ou bayard	»	$0^{m}216$	0,340	»	»	»	»	»	»	»	»
Brouette	»	$0^{m}671$	»	»	»	»	»	0,053	0,049	0,032	»
Wagon	1,07	»	0,710	»	»	»	0,280	»	»	»	»

Les lois qui précèdent sont celles du tassement total, au bout de deux ou trois ans après la confection des terrassements.

Mais les tableaux renfermant les détails de toutes les observations faites de quinzaine en quinzaine permettent de reconnaître une quatrième loi.

4° *Lois du tassement, variable avec le temps pour des hauteurs différentes, des natures diverses de terrain et des modes différents de transport.*

Le tassement des remblais n'augmente sans interruption pour aucune espèce de terrain, aucune hauteur, ni aucun mode de confection.

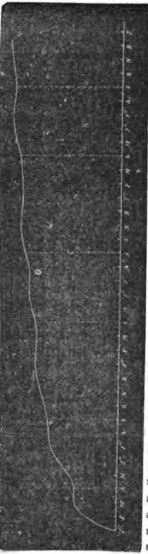
Les remblais de toutes natures, après avoir tassé, foisonnent à deux époques distinctes de l'année, à l'époque des pluies d'automne et à celle des pluies du printemps.

Quelquefois le tassement est simplement arrêté au moment de ces pluies; il reprend ensuite, continue à croître, et, l'année suivante, donne lieu à deux oscillations nouvelles aux mêmes époques.

Après la troisième année, on peut considérer le tassement total comme invariable, dans la région méridionale de la France, pour les natures de terrain observées et pour des hauteurs atteignant $6^m,10$.

Si on figure par une courbe la valeur du tassement en fonction du temps pris comme abscisse, on obtient une ligne qui tend vers une asymptote parallèle aux x, à une hauteur égale au tassement total qui est généralement atteint au bout de la troisième année, pour des remblais faits avec précaution, suivant les règles de l'art.

Entre l'origine et l'asymptote, la courbe a deux oscillations par an, comme il est indiqué à la figure ci-jointe; l'amplitude de ces oscillations va en diminuant.



Ces foisonnements des remblais de toute nature expliquent les efforts de poussée exercée sur les murs en retour, placés en prolongement des têtes derrière les culées des ponts.

Il est très-fréquent, surtout lorsque les maçonneries sontfaites avec de bon mortier, de voir se détacher les têtes des ponts par des fissures qui se déclarent, dans des plans parallèles aux têtes, et suivant l'épaisseur des murs en retour.

Alors même que cet effet ne se produit pas, la partie supérieure de ces murs s'incline, et le mur surplombe s'il a été construit vertical, et l'on est souvent obligé, soit de les butter par des contreforts extérieurs, soit de les maintenir, en reliant les murs opposés par des tirants en fer ; on ne peut éviter ces inconvénients qu'en remplissant l'intervalle des murs en retour par une véritable maçonnerie en pierre sèche, posée à la main.

Ces mouvements des murs en prolongement des têtes, signalés par les différents auteurs qui se sont occupés de construction, sont attribués à plusieurs causes, mais aucun d'eux ne signale celle que nos expériences ont révélée d'une manière certaine et sans aucune

Digitized by Google

exception ; c'est le foisonnement des remblais de toute nature avec quelque soin qu'ils aient été exécutés ; foisonnement qu'on n'a fait entrer dans aucun calcul, ni dans aucune théorie relative à l'établissement de ces murs, et qui doit avoir une influence considérable sur la forme et les dimensions convenant au maximum de stabilité pour le minimum de dépense.

Nous placerons ici le tableau synoptique donnant les valeurs du foisonnement applicables aux remblais jusqu'à 6^{m},10 de hauteur, suivant le mode de transport et la nature des terrains formant le remblai.

Mode de confection	Argile et terre très-argileuse	Alluvions limoneuses sans mélange de sable ni de cailloux	Terre argileuse avec gravier et pierrailles; terre végétale	Terres très-caillouteuses passant au conglomérat	Débris de rocher mêlés d'argile terreuse	Conglomérats de cailloux légèrement terreux et gravier terreux	Sables terreux	Sables humides	Sables de la plage	Sables et gravier pur de la Tet
Tombereau. .	0,011	»	0,030 0,036	0,048 0,031	0,001	0,048 0,0.6	»	»	»	0,007
Brouette et panier ou bayard. . . .	»	0,041 0,070	0,036	»	»	»	»	»	»	»
Brouette. . .	»	0,043	0,015	»	»	»	0,010	0,005 0,054	0,008 0,034	»
Wagon. . . .	0,145	»	0,007	»	0,075	0,048	»	»	»	»

Le classement des meilleurs modes de transport, au point

de vue du moindre foisonnement, et le classement des terrains par ordre décroissant de foisonnement ne résultent pas de ce tableau d'une manière aussi nette que pour les tassements.

Cela peut tenir à ce que les expériences qui ont révélé le phénomène du foisonnement d'une manière très-générale n'ont pas été faites pour l'étude même des lois de ce phénomène, jusque alors inconnu. Il y aurait lieu, évidemment, de faire une étude nouvelle et plus attentive des valeurs du foisonnement, si on le jugeait utile au point de vue pratique de la sécurité de la circulation, ou de la résistance des murs en retour.

Les nombres trouvés pour les sables humides et les sables de la plage indiquent deux ordres de valeur, dont le premier semble appartenir au véritable foisonnement, et dont le second peut être dû à des causes accidentelles, d'autant plus que les agents qui les ont faites sont ceux qui ont le moins observé et offrent ainsi le moins de sécurité.

Bien que l'ordre dans lequel doivent être rangés les terrains, au point de vue du foisonnement, soit susceptible d'être modifié, les terrains où domine l'argile sont encore ceux qui foisonnent le plus; les débris de rocher, les graviers et sables purs de la Tet sont ceux qui foisonnent le moins; mais tous, sans exception, donnent lieu à un foisonnement.

Nous arrêtons là ce résumé d'un très-grand nombre d'observations.

Les lois nouvelles que nous avons trouvées sont simples.

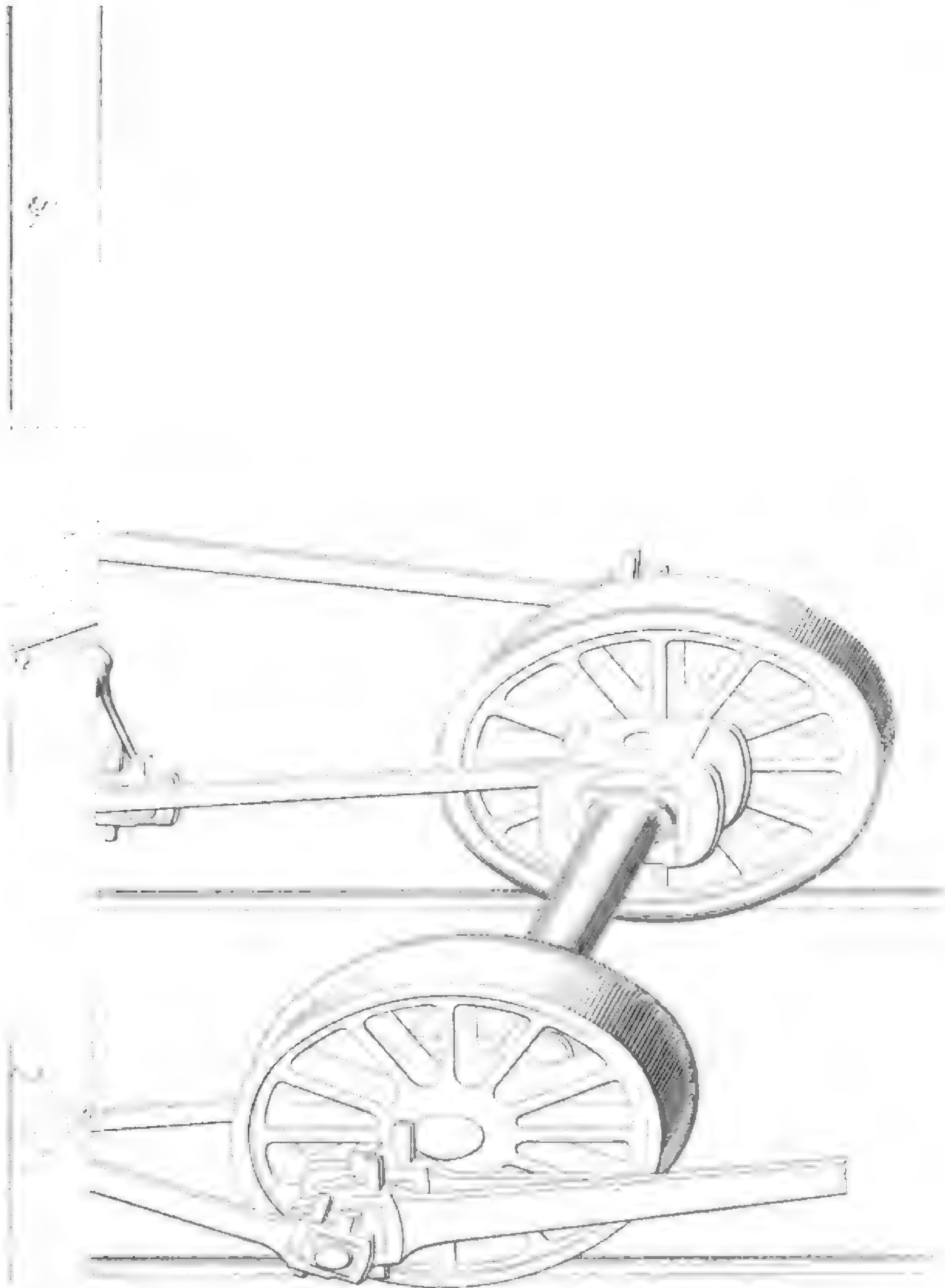
Les valeurs numériques peuvent être modifiées par de nouvelles expériences, pour des régions nouvelles.

Celles que nous donnons sont une première approximation qui peut être utile aux ingénieurs, éviter des accidents à la circution et des dépenses importantes à l'Etat.

Notre but sera atteint si ce travail, en fixant l'attention des

constructeurs et de l'administration, provoque de nouvelles recherches, améliore les études de nos écoles spéciales et fait profiter nos camarades et nos successeurs de la peine que nous avons prise.

1763. — Typ. de Guiraudet, place de la Mairie, 2, à Neuilly.



MÉMOIRES

ET

COMPTE-RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(OCTOBRE, NOVEMBRE ET DÉCEMBRE 1860)

N° 12

Pendant ce trimestre on a traité les questions suivantes :

1° *Essai sur le matériel des grandes lignes de chemins de fer*, par M. Larpent. (Voir les résumés des séances des 5 octobre et 16 novembre, pages 335 et 350);

2° *Séchage de la vapeur (appareil de)*, par M. Nozo. (Voir le résumé de la séance du 2 novembre, page 341) ;

3° *Vaisseau blindé le Warrior*, construit en Angleterre, communication de M. J. Gaudry. (Voir le résumé de la séance du 2 novembre, page 343) ;

4° *Eclipse du 18 juillet*, par M. Yvon-Villarceau. (Voir le résumé de la séance du 2 novembre, page 344) ;

5° *Extraction du zinc* (Méthode nouvelle). (Voir le résumé de la séance du 7 décembre, page 354);

6° *Tables et tableaux d'intérêt des annuités et rentes viagères*,

par M. Eugène Pereire. (Voir le résumé de la séance du 2 novembre, page 347) ;

7° *Recherches sur les lois expérimentales du tassement des remblais*, note de M. Carvallo, ingénieur des ponts et chaussées. (Voir le résumé de la séance du 7 décembre, page 356) ;

8° Elections des membres du bureau et du Comité. (Voir le résumé de la séance du 21 décembre, page 358) ;

Pendant ce trimestre la Société a reçu :

1° De M. Opermann, les n°s d'octobre, novembre et décembre des *Nouvelles Annales de la construction*, du *Portefeuille économique des machines* et de *l'Album de l'art industriel;*

2° Les n°s de la première et de la deuxième livraison de 1860 des *Annales des Mines ;*

3° De M. Charles Manby, membre de la Société, le portrait de M. *Robert Stephenson ;*

4° Les n°s de septembre, octobre et novembre 1860 du *Bulletin de la Société de Mulhouse ;*

5° Les n°s de septembre, octobre et novembre 1860 des *Annales des conducteurs des Ponts et Chaussées ;*

6° Les n°s 53, 54 et 55 des *Mémoires de la Société d'Agriculture, des Sciences du département de l'Aube ;*

7° De M. César Daly, les n°s 3, 4, 5 et 6 de la *Revue d'Architecture ;*

8° Le n° d'août 1860 du bulletin de l'*Institution of Mechanical Engineers ;*

9° Les n°s d'octobre, novembre et décembre 1860 des *Annales forestières et métallurgiques ;*

10° Les n°s de juillet, août, septembre et octobre 1860 du bulletin de la *Société d'Encouragement;*

11° De M. Nozo, membre de la Société, une *note sur un appareil de séchage de la vapeur ;*

12° De M. Desnos, membre la Société, les nos d'octobre, novembre et décembre du journal *l'Invention* ;

13° Les nos d'octobre, novembre et décembre des *Annales télégraphiques* ;

14° Les nos de mai, juin, juillet et août des *Annales des Ponts et Chaussées* ;

15° De M. Perdonnet, membre de la Société, les 8e et 9e livraisons du *Nouveau portefeuille de l'Ingénieur des chemins de fer* ;

16° Le n° de juillet de la *Revue des Ingénieurs Autrichiens* ;

17° De M. Poujard'hieu, un exemplaire de sa brochure intitulée : *du Rachat des chemins de fer par l'Etat* ;

18° De M. Desmousseaux de Givré, membre de la Société, une *note sur la coulisse de Stephenson et la distribution à détente variable produite par un seul tiroir à recouvrements* ;

19° De M. Hamers, membre de la Société, un mémoire intitulé : *Etudes sur l'emploi de la main-d'œuvre dans l'industrie* ;

20° De M. Petitgand, membre de la Société, une brochure intitulée : *Avenir de l'exploitation des Mines métalliques en France* ;

21° De M. Muller, membre de la Société, un exemplaire d'une notice sur une *nouvelle Méthode d'extraction du zinc* ;

22° Le dernier numéro du Bulletin de la *Société Impériale et Centrale d'Agriculture* ;

23° Les nos d'octobre, novembre et décembre du journal *The Engineer* ;

24° De M. Emile With, un exemplaire du compte-rendu de l'ouvrage de M. de Castro, intitulé *l'Electricité et les Chemins de fer* ;

25° De M. Emile With, de la part de M. Luccio del Valle, inspecteur-divisionnaire des ponts et chaussées d'Espagne, un exemplaire de son ouvrage sur la *Description des appareils employés dans les Phares* ;

26° De M. Chobrzynski, membre de la Société, une note intitulée : *Expériences sur les effets comparatifs des échappements fixes et des échappements variables dans les locomotives ;*

27° De M. Morel, éditeur, les numéros de la *Gazette des Bâtiments ;*

28° Le numéro du 2e trimestre du bulletin de la *Société de l'Industrie minérale ;*

29° De M. Noblet, éditeur, le numéro de septembre et octobre de la *Revue universelle et de la métallurgie*, et les numéros d'avril, mai, juin, juillet, août et septembre du *Portefeuille de John Cockerill.*

Les membres nouvellement admis pendant ce trimestre sont les suivants :

Au mois d'octobre.

M. Guntz, présenté par MM. E. Vuigner, Guillaume, et de Blonay.

Au mois de novembre.

MM. Goumet, présenté par MM. Faure, Peligot et Tresca.

Wohlguemuth, présenté par MM. Callon, Priestley et Heurtebise.

RÉSUMÉ DES PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

PENDANT LE 4e TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1860

SÉANCE DU 5 OCTOBRE 1860

Présidence de M. VUIGNER

M. LE PRÉSIDENT annonce que M. de La Rochette, membre de la Société, vient d'être nommé Chevalier de la Légion-d'Honneur.

M. LARPENT donne lecture de son travail, qu'il a intitulé : ***Essai sur le matériel des grandes lignes de chemins de fer.***

Cette communication est divisée en cinq parties, savoir : 1° un exposé; 2° un aperçu d'une nouvelle machine à marchandises, articulée; 3° la description de son nouveau système d'accouplement d'essieux non parallèles; 4° une étude sommaire d'un matériel de wagons à marchandises; 5° une comparaison entre des trains formés de wagons actuellement en usage, et d'autres trains composés du nouveau matériel qu'il patronne.

Dans la première partie de son travail, l'auteur signale le peu de progrès réalisés dans la locomotive, depuis son application; sauf quelques perfectionnements dans les pièces de détail, il retrouve aujourd'hui, comme il y a quinze ans, la machine à marchandises généralement employée, supportée par trois essieux accouplés, maintenus parallèlement par le châssis rigide.

Quant au matériel de wagons, M. Larpent reconnaît un progrès incontestable dans l'adoption et la généralisation du matériel à 10 tonnes. Cette mesure a eu pour but d'améliorer le rapport du poids utile transporté au poids brut remorqué. Ce rapport, qui n'était guère théoriquement que de 50 0/0 avec l'ancien matériel chargé à 5 tonnes, est aujourd'hui de 66 0/0, par suite de l'emploi des wagons chargés à 10 tonnes.

L'auteur se demande si la dernière limite du perfectionnement est atteinte? Il croit, au contraire, qu'il reste quelque chose à faire pour arriver à diminuer les frais de transport sur les chemins de fer, afin de pouvoir transporter plus économiquement certaines marchandises qui

n'offrent qu'un léger bénéfice aux Compagnies, et surtout pour pouvoir entreprendre le transport à un prix rémunérateur de certaines matières premières encombrantes, qui sont exclues aujourd'hui des voies ferrées.

Ces mesures mises en avant par l'auteur, pour réaliser des économies et approcher des limites du progrès, portent sur l'augmentation de la puissance des locomotives, dont l'effort de traction, selon lui, devrait atteindre 10 à 12,000 kilogrammes; force nécessaire pour remorquer un train de 1,000 à 1,200 tonnes sur une rampe de 0,005 m/m par mètre, et dans l'adoption d'un matériel dont le poids mort ne serait que le quart, environ, du chargement. C'est la solution de ce problème qu'il a tentée.

Dans la deuxième partie, traitant de la nouvelle locomotive, M. Larpent croit que l'impossibilité de charger, avec sécurité, les bandages d'un poids supérieur à 5 ou 6,000 kilogrammes, et l'absence de moyens pratiques pour accoupler les essieux non parallèles, font que la machine pesant 30 à 35 tonnes, supportée par trois essieux parallèles, chargés chacun de 10 à 12 tonnes, est la dernière limite de puissance qu'une machine rationnelle puisse atteindre.

L'auteur examine ensuite les relations qui existent entre les éléments de la puissance d'une machine, savoir l'adhérence et la surface de chauffe, et discute l'opinion que quelques ingénieurs ont émise à ce sujet. Il ajoute que, si la machine ordinaire du poids de 30 à 35 tonnes et de 130 mètres quarrés environ de surface de chauffe, satisfait généralement, tant sous le rapport des relations entre la surface de chauffe et l'adhérence, que sous le rapport du poids supporté par les essieux; pour doubler la puissance d'une semblable machine, il suffit de doubler la surface de chauffe, le poids et le nombre de ses points d'appui.

Suivant M. Larpent, la machine qu'il proposerait pour réaliser le maximum d'effort, et résumer en même temps le plus de progrès, serait du poids de 60 à 70 tonnes, munie d'un générateur de 300 mètres quarrés de surface de chauffe, et supportée par six essieux accouplés.

La chaudière pourrait, à volonté, reposer sur deux trucks à trois essieux chacun, ou bien sur trois trucks à deux essieux chacun. Dans les deux cas, la chaudière devrait porter et pivoter sur les trucks extrêmes; elle reposerait seulement sur le truck du milieu, dans le cas de l'emploi de trois trucks. Les essieux d'un même truck seraient accouplés par le procédé ordinaire à bielles horizontales. Les essieux convergents de différents trucks les plus rapprochés seraient accouplés par le nouveau procédé imaginé par l'auteur, au moyen de bielles rigides et obliques, combinées avec son levier d'oscillation compensateur.

Inutile d'ajouter que ce système d'accouplement pourrait également s'appliquer avec autant de succès à une machine articulée de moindre puissance portée sur quatre essieux accouplés.

Avant de donner la description de son nouvel appareil d'accouplement des essieux convergents, l'auteur demande la permission de faire une courte digression. Il dit que le problème de l'accouplement des essieux non parallèles l'a occupé pendant plusieurs années, et que c'est seulement

vers le milieu de l'année dernière que ses études ont été couronnées de succès. Il s'est empressé de communiquer sa découverte à plusieurs ingénieurs haut placés dans les chemins de fer et dans l'industrie privée.

M. Eugène Flachat a encore en sa possession le dessin du nouvel appareil que l'auteur lui a remis le *seize septembre mil huit cent cinquante-neuf*, dans l'espoir que cette solution pourrait intéresser l'illustre Ingénieur, au moment où il s'occupait des premières études relatives à son intéressant travail du passage des Alpes par un chemin de fer à ciel ouvert.

M. Larpent, n'ayant eu en vue aucun intérêt spéculatif, croyait avoir donné suffisamment de publicité à sa découverte pour s'en assurer l'honneur. Cependant, un honorable et savant Ingénieur du corps impérial des ponts-et-chaussées, ayant, dans ces derniers temps, proposé une solution identique du même problème après s'être fait breveter, à la date du *vingt-cinq février mil huit cent soixante*, M. Larpent s'est rendu aux sollicitations de ses amis, qui l'ont vivement engagé à rompre le silence qu'il s'était imposé. Il vient, en conséquence, soumettre son nouveau procédé d'accouplement à l'examen des membres de la Société des Ingénieurs Civils, non-seulement dans le but de revendiquer la priorité de la découverte, qui, du reste, n'est pas contestée, mais encore, pour le motif beaucoup plus élevé, d'en faire juger le mérite; car, si comme il y a lieu de le croire, le nouveau procédé est reconnu efficace, il clot définitivement l'ère des recherches d'une bonne machine articulée, et supprime l'obstacle qui s'opposait, depuis si longtemps, à l'extension indéfinie de la puissance des locomotives.

M. Larpent donne ensuite la description de son nouveau système d'accouplement d'essieux non-parallèles, de la manière suivante : si au milieu de la distance qui sépare deux essieux pouvant converger vers le centre d'une courbe, on place un axe dont les extrémités soient constamment tenues à égale distance des centres des bouts de ces essieux, que sur cet axe on place à chaque extrémité un levier dont les bras soient plus grands que le rayon des manivelles d'accouplement; si en suite on réunit les extrémités des bras de levier, par des bielles, aux boutons de manivelles des essieux convergents : il est évident que, dans le mouvement, les extrémités des bras de levier décriront un arc de cercle, pendant le temps que les boutons de manivelles décriront une circonférence.

En comparant les éléments de chaque circonférence de roues entraînées dans un temps donné, on les trouve identiques; si ensuite on examine la position des points morts ou énergiques des manivelles, on voit qu'ils correspondent aux mêmes positions sur le levier d'oscillation; ce qui fait conclure, que, puisque d'une part l'entraînement ayant lieu régulièrement d'une roue à l'autre, et que d'autre part, l'effort du piston étant transmis à l'adhérence de la même manière qu'il a lieu à l'essieu moteur, le nouveau système d'accouplement est aussi rationnel que le procédé ordinaire à bielles horizontales.

Dans les courbes, les variations de distance entre les essieux convergents se trouvent compensées sur l'arc décrit par le levier d'oscillation compensateur; c'est-à-dire que, le levier d'oscillation compensateur commençant ou finissant sa course un peu plus tôt ou un peu plus tard, l'arc de cercle n'est plus symétrique par rapport à la verticale qui passe par le centre du levier, laquelle verticale, lorsque la machine est en ligne droite, doit être la bissectrice de l'angle formé par les positions extrêmes des bras de levier.

M. Larpent arrive ensuite au développement de ses idées sur le nouveau matériel de wagons à marchandises. Il craint que sa puissante machine articulée à six essieux, destinée spécialement à circuler sur des chemins en courbes prononcées et à fortes rampes, ne soit d'une application difficile sur les chemins construits dans les conditions ordinaires, avec le matériel actuel. L'adoption de cette puissante machine offrirait plusieurs inconvénients qu'il signale comme suit :

1° Il faudrait renforcer les attelages des wagons, qui seraient évidemment trop faibles pour résister à uneffort aussi considérable;

2° La longueur démesurée des trains serait intolérable :

3° Il y aurait impossibilité de réduction dans le personnel des trains;

4° Il faudrait augmenter la longueur des voies de garages, etc., etc.

Son but est d'éviter tout espèce de dépense aux Compagnies et de respecter l'ordre de chose établi, en l'utilisant plus fructueusement si c'est possible. Il veut créer, à côté du matériel actuel qu'il trouve judicieux pour l'exploitation des lignes secondaires et la composition de trains omnibus desservant les gares de médiocre importance, un gros matériel pour venir en aide à celui qui existe, pouvant contenir 30 tonnes utiles, affecté exclusivement au transport de matières premières encombrantes, et à la composition de trains directs de marchandises parcourant de grandes distances, et s'arrêtant seulement aux gares importantes, pour recueillir en bloc les produits des lignes secondaires et des trains omnibus.

L'auteur se déclare ennemi de toute innovation qui ne saurait s'appuyer sur un jugement sain, sur des considérations majeures d'intérêt public, et surtout sur des faits sanctionnés par une longue pratique. Il ne croit donc heurter aucune susceptibilité en proposant un matériel spécial pouvant charger 30 tonnes utiles, qui aura pour conséquence d'augmenter dans une forte proportion le rapport du poids utile transporté au poids total remorqué.

Les nouveaux wagons seraient articulés sur deux essieux chacun comme dans le système dit américain. En évaluant largement à 10 tonnes le poids moyen des nouveaux véhicules vides, on voit que le poids mort ne serait plus que le quart du chargement.

M. Larpent discute longuement les arguments et les objections qui pourraient lui être adressés de la part des services qui concourent à l'exploitation des chemins de fer. Il arrive ensuite à l'examen des trains composés de matériel actuel avec d'autres formés de son nouveau matériel.

A cet effet, il compare deux trains de 500 tonnes brutes chacun, formés

de wagons chargeant 10 tonnes utiles, avec un train de 1,000 tonnes remorqué par une machine et composé de wagons pouvant contenir 30 tonnes utiles.

En appliquant le tarif de cinq centimes par tonne et par kilomètre, et admettant la même dépense dans les deux cas, ce qui n'est pas exact, on trouve un demi-centime de différence en faveur du train unique. Cette économie sensible est due exclusivement à l'augmentation du poids utile transporté.

La communication se termine par un aperçu des économies qui doivent résulter de l'adoption du nouveau matériel rapporté au tonnage remorqué, et qui se résument comme suit :

1° Sur l'acquisition première du matériel;

2° Sur une diminution dans la consommation du combustible;

3° Sur une plus faible dépense d'entretien du matériel;

4° Sur une réduction dans le personnel des trains;

5° Sur une augmentation du poids total transporté.

Cette dernière économie se traduisant déjà par un demi-centime sur une tonne transportée à un kilomètre, M. Larpent ne croit pas être taxé d'exagération en évaluant à un centime l'économie totale qui doit résulter de l'ensemble.

M. Le Président est d'avis qu'il conviendrait de remettre à une autre séance la discussion technique à laquelle peut donner lieu cette communication; toutefois, relativement à l'augmentation de capacité des wagons proposée par M. Larpent, il fait remarquer qu'il est déjà très-difficile d'obtenir la charge normale utile de 10 tonnes par wagon : c'est à peine si la charge réelle atteint en moyenne 50 0/0 de la charge normale.

M. Larpent répond qu'il n'est pas entré dans sa pensée de remplacer le matériel actuel; le nouveau matériel qu'il propose serait spécialement destiné aux lignes qui desservent de grands centres de production et aux marchandises encombrantes. Il ajoute qu'une objection semblable à celle de M. le Président avait été faite lors de l'adoption du matériel à 10 tonnes, et cependant, si faible que soit la charge réelle de 50 0/0, elle dépasse beaucoup celle du matériel à 5 tonnes qui n'était, il y a peu d'années, que de 25 à 28 0/0.

M. Goschler indique que la difficulté de compléter les chargements se présente même sur les lignes à grand trafic; il demande comment M. Larpent est arrivé au type qu'il propose, sans citer la machine Engerth qui n'a cependant pas reçu selon lui tous les perfectionnements dont elle est susceptible.

M. Larpent répond que, dans son opinion, la seule machine à marchandises rationnelle est celle à trois paires de roues couplées du poids de 30 à 35 tonnes, et qu'il ne saurait considérer comme telle la machine Engerth; il ne pense pas que cette machine ait rempli son but, puisque, construite pour marcher à cinq essieux couplés, on n'a pu utiliser pour l'adhérence que les trois essieux d'avant, de sorte que toute la puissance de vaporisation ne peut plus être employée.

M. Roy indique qu'on a, en effet, supprimé, sur toutes les machines Engerth des chemins autrichiens, les engrenages qui avaient été établis entre les troisième et quatrième essieu.

A l'appui de l'observation de M. le Président, il cite ce fait que le matériel de son système, à l'essai sur le réseau d'Orléans, a dû séjourner 8 à 10 jours à Bordeaux pour compléter le chargement normal de 12 tonnes par wagon.

M. Goschler demande si le matériel proposé par M. Larpent ne serait pas de nature à entraîner des modifications dans les clauses et conditions des cahiers des charges relatives au délai de transport des marchandises.

M. Larpent répond qu'il ne croit pas que l'adoption de ses idées comporterait une modification dans la législation des chemins de fer, car si le public et les compagnies trouvaient leur avantage dans l'adoption de cette mesure, le gouvernement, qui ne cesse d'encourager tout ce qui tend à améliorer les moyens de transport, ne saurait les désapprouver.

M. Roy fait remarquer, en outre, que les wagons de M. Larpent portant 10 tonnes par essieu fatigueraient autant la voie que des locomotives; il y aurait à craindre que l'usure des voies ne devînt plus rapide.

M. le Président insiste sur la difficulté de compléter les chargements, même quand on part de centres considérables; les chargements complets au départ se répartissent pendant le trajet.

Relativement à la fatigue des rails, M. le Président pense qu'on ne s'en est pas assez préoccupé; c'est à peine si l'on peut compter, pour les rails fabriqués récemment, sur une durée supérieure à 15 années et l'on a dû, sur toutes les grandes lignes, commencer la réfection des voies.

M. Roy est d'avis que ce fait ne peut être attribué qu'à l'augmentation de poids du matériel.

M. Goschler indique que, sur la ligne de Strasbourg à Bâle, les rails fabriqués en bon fer ont bien résisté pendant quelque temps au matériel lourd et que la réfection a été nécessitée surtout par l'insuffisance des traverses arrivées à leur limite de durée.

M. Larpent pense que l'usure de la voie est due plutôt à la fréquence des trains qu'au poids des véhicules; le remplacement des rails sur les lignes de Versailles, Saint-Germain et autres, doit être attribué en partie à la première de ces causes.

Le système qu'il propose a aussi pour but de diminuer le nombre des trains circulant dans un temps donné; car un seul train, composé de son nouveau matériel, transporterait plus du double de marchandises que deux trains formés du matériel actuel.

M. le Président remercie M. Larpent de son intéressante communication.

Il est ensuite donné lecture d'une note de M. Burt, membre de la Société, sur la préservation des pierres et des autres matériaux servant aux constructions.

Après avoir rappelé qu'on doit à MM. Fuchs et Kuhlmann l'idée de la préservation des matériaux tendres par l'application d'un silicate alcalin,

l'auteur de cette communication indique que la réaction lente qui donne naissance aux silico-carbonates de chaux est souvent entravée par l'humidité de l'atmosphère. M. Frédéric Ransome d'Ipswich a imaginé d'appliquer d'abord, sur la matière à préserver, une dissolution de chlorure de calcium; lorsqu'on vient ensuite faire agir le silicate alcalin, il se produit immédiatement, par double décomposition, du silicate de chaux adhérent fortement à la substance qu'il est destiné à préserver.

Ce procédé breveté en 1856 a été appliqué avec succès au nouveau palais du Parlement, ainsi que cela a été constaté après une épreuve de quatre années.

Le précipité de silicate de chaux ainsi obtenu est incolore, mais au moyen de sels à bases métalliques on peut lui donner une coloration permanente. L'auteur est également parvenu à produire, par une réaction analogue, d'autres silicates, (silicate de magnésie, de baryte, etc.), mais pour l'emploi sur une grande échelle il préfère les solutions à bases de chaux comme plus économiques, et pouvant répondre, dans la pratique, à toutes les conditions exigées.

M. Guntz a été reçu membre de la Société.

SÉANCE DU 2 NOVEMBRE 1860

Présidence de M. Laurens, *Vice-Président*

M. Nozo donne communication de la note ci-après sur un appareil de séchage de la vapeur.

Le séchage, chauffage, réchauffage ou surchauffage de la vapeur (comme on voudra l'appeler), dans les machines fixes, machines locomobiles ou locomotives, a généralement été considéré comme une condition importante à réaliser.

Différents moyens ont été proposés à diverses époques, mais fort peu ont reçu la sanction de l'expérience; si bien qu'un bon mode de séchage ou surchauffage de la vapeur est encore, à l'heure qu'il est, un véritable problème à résoudre, tout au moins pour ce qui regarde les locomotives.

C'est donc avec l'espoir de fournir, pour ces dernières machines au moins, une solution meilleure que celles indiquées précédemment, que Monsieur Petiet, ingénieur en chef du matériel et de l'exploitation du chemin de fer du Nord, a imaginé et fait construire l'appareil représenté sur le dessin qu'il place sous les yeux de la Société, et qu'il est chargé de déposer aux archives.

La Compagnie du chemin de fer du Nord possède, entre autres, deux locomotives système Crampton, pour trains express, portant les nos 162 et 163, d'une disposition particulière à quatre essieux. Ces deux locomotives étaient parfaitement identiques sous tous les rapports lorsque, sans rien changer à l'une, no 163, on étudia, à la date du 10 février 1860, sur l'autre, no 162, l'application de l'appareil de séchage nouveau dont il va indiquer les principales dispositions.

Le réservoir de vapeur n'est plus seulement formé, dans la machine 162, par la partie supérieure de la chaudière, mais bien par cette partie à laquelle on ajoute une seconde chaudière tubulaire de petite capacité, en communication avec la chaudière principale, et dans laquelle on fait passer la vapeur avant de l'envoyer aux cylindres moteurs.

La vapeur qui se dissémine dans tout l'appareil est donc séchée ou surchauffée au contact des gaz chauds, qui à la fois traversent les tubes et enveloppent l'appareil de toutes parts.

Le tirage est toujours obtenu au moyen de l'échappement; mais la cheminée au lieu d'être à l'avant, comme d'habitude, est reportée vers l'arrière de la machine.

Depuis le mois d'août dernier, que l'appareil sécheur fonctionne sur le chemin de fer du Nord, la machine 162 a effectué un parcours de 7,900 kilomètres. Les resultats obtenus sont très-favorables. Il ne paraît plus y avoir d'eau entraînée avec la vapeur; et l'économie de combustible réalisée, d'ailleurs en parfaite concordance avec une moindre consommation d'eau, paraît devoir être assez importante.

M. Nozo aura sans doute occasion plus tard de présenter à la Société une note détaillée sur tous les faits économiques qui peuvent se rattacher à l'emploi du sécheur nouveau, lorsque l'expérience aura été plus prolongée et faite d'ailleurs sur une plus grande échelle.

Un membre signale des essais de surchauffage de la vapeur qui ont été faits chez MM. Wawal et Middleton, mais auxquels on a renoncé, parce que l'appareil employé se brûlait trop vite.

M. Le Président croit qu'un appareil analogue à celui essayé chez MM. Wawal, etc., a été employé quelques temps dans les ateliers de M. Gouin, et qu'on y a renoncé également.

M. Nozo indique que, depuis longtemps, la question est à l'étude et que, dès 1827, M. Becker s'est fait breveter pour un système qui n'est pas resté dans l'industrie.

M. Le Président fait remarquer que jusqu'ici l'application de la surchauffe a donné lieu à des inconvénients dans les machines à vapeur, inconvénients qui y ont fait renoncer ; mais que ce n'est pas une raison pour que de nouveaux essais ne soient pas tentés et qu'ils ne réussissent pas ; il fait remarquer que, dans la plupart des surchauffeurs, les tubes se brûlent, et cela d'autant plus vite que la vapeur est plus humide, à cause des dépôts que laisse dans les tubes l'eau entraînée ; ce sont les tubes de fonte qui résistent le mieux.

M. Faure signale la trop grande régularité des chaudières munies de

surchauffeurs, ce qui offre un inconvénient assez grand dans les sucreries et autres établissements, où après un arrêt prolongé il faut tout d'un coup une grande quantité de vapeur.

M. Chobrzynski a reconnu que, par le surchauffeur de vapeur du chemin du Nord, la température de la fumée était abaissée de 80 ou 100°, abandonnant ainsi une partie de sa chaleur qui était employée utilement, puisqu'il y a eu moindre consommation d'eau.

M. Nozo fait observer qu'il n'y a pas d'entraînement de cendres dans les tubes, la poussière qu'on y trouve est très-légère, les tubes n'ont besoin d'être nettoyés que tous les trois ou quatre voyages, il pense donc qu'ils se conserveront bien; la marche de la machine est plus régulière. Au reste, il a été décidé que l'appareil serait appliqué à deux machines à marchandises.

M. Le Président adresse des remerciements à M. Nozo.

M. J. Gaudry donne ensuite communication de quelques renseignements puisés dans le *Civil Engineer journal* sur le *Warrior*, vaisseau blindé qui se construit actuellement en Angleterre, à l'imitation de la frégate française la *Gloire*.

Quoique mis en chantier depuis peu de temps, le *Warrior* a été exécuté avec tant d'empressement qu'il est presque terminé et sera lancé à la fin de cette année. Ce navire, qui n'est, à ce qu'il paraît, classé que comme frégate, a 120 m. de longueur extrême y compris les éperons, 16 m. 40 de large, 12 m. 60 de creux, et un tonnage de 6100 tonnes. Sa machine motrice sera de 1250 chevaux, les soutes à houille contiendront 1000 tonnes, l'armement comptera 80 gros canons Armstrong, et on espère que la vitesse atteindra au moins 14 nœuds. Sur une longueur de 63 m., correspondants à la batterie, les flancs de la coque sont couverts jusqu'à 1 m. 50 au-dessous de la flottaison d'une cuirasse en fer forgé au pilon, dont l'épaisseur est de 113 millimètres. — Aux deux extrémités existe une sorte d'éperon composé de feuilles de tôle entrelacées en tous sens, qui présentent une résistance considérable et peut être endommagé dans le choc sans crever la coque proprement dite, dont ces éperons ne sont que deux appendices extérieurs. On prétend qu'à l'origine le constructeur se proposait de masquer à l'ennemi le véritable caractère de son formidable engin de guerre, en déguisant les éperons sous une forme de véritable poulaine richement ornementée, et c'est avec la même naïveté qu'on dit avoir renoncé par économie à cette trompeuse ornementation.

Une pièce plus sérieuse serait l'étambot en fer forgé d'un seul bloc, du poids de 46 tonnes, lequel mesure 12 m. de haut, 45 centimètres de large et 20 centimètres d'épaisseur. Quant au prix de construction du *Warrior*, il n'excéderait pas, dit-on, celui d'un bâtiment ordinaire en bois, de même force, construit sur les chantiers de l'Etat; soit 1500 fr. par cheval pour la machine et ses accessoires, et 1000 fr. par tonne du poids de la coque.

Telle est la première des citadelles flottantes que l'amirauté d'Angleterre ajoute actuellement à sa formidable marine; nous n'avons pas à les juger au point de vue de la guerre maritime qu'elles peuvent modifier, mais comme

œuvres d'ingénieurs elles nous intéressent, et c'est à ce seul titre que nous sommes empressés d'emprunter au journal anglais des détails qui seront prochainement complétés.

Sur l'invitation de M. le Président, M. Yvon-Villarceau rend compte des résultats obtenus par l'expédition française qui est allée observer en Espagne l'éclipse totale du 18 juillet dernier.

Loin de chercher à embrasser toutes les questions qui se rattachent au phénomène d'une éclipse totale, la Commission s'est restreinte à celles qui offraient le plus d'intérêt... Le peu de durée du phénomène, 3 h. 1/2 environ, exigeait d'ailleurs que les recherches fussent réparties entre les observateurs.

Des apparences singulières, auxquelles on a donné le nom de protubérances, flammes roses, etc., se montrent autour du disque obscur de la Lune dans les éclipses totales; et l'on en avait produit diverses explications : celle qui paraissait le plus probable, et qui consistait à les regarder comme des dépendances du Soleil, était loin de réunir l'assentiment général des astronomes; beaucoup d'entre eux inclinaient à croire qu'il n'y avait là qu'une illusion d'optique, un effet de mirage produit par la juxtaposition des couches d'air inégalement échauffées dans la région qui sépare l'ombre totale de la pénombre. Les observations purement descriptives des changements observés dans ces apparences laissent trop de prises aux appréciations : la mesure effective des déplacements pouvait seule trancher la question. On conçoit, en effet, que, si les protubérances sont des annexes du Soleil, la Lune, dans son mouvement, couvrira et démasquera en même temps celles qui se trouvent en avant et en arrière de sa direction : quant aux protubérances qui peuvent se présenter latéralement, il arrivera que la ligne menée du centre de la Lune à un point distinct de ces appendices s'inclinera progressivement sur la direction du mouvement de la Lune. Or, la quantité de ces déplacements peut être calculée exactement au moyen des mouvements bien connus des deux astres; et, si on trouve le résultat du calcul d'accord avec l'observation, on prouvera l'exactitude de l'hypothèse.

Les mesures ne pouvaient s'obtenir sûrement qu'à l'aide de lunettes ou télescopes montés parallactiquement; et encore fallait-il supprimer la lecture des limbes ou tambours divisés. Dans ce but, M. Yvon-Villarceau fit adapter à deux télescopes, du système de M. Foucault, un appareil micrométrique composé de deux fils rectangulaires et d'une coulisse servant à marquer au crayon, sur un carton fixé au corps de l'instrument, les positions du châssis portant les fils. L'observation se fait en disposant l'un des fils tangentiellement au limbe de la Lune et faisant passer le second par un point distinct de la protubérance.

Dans les éclipses totales, le disque de la Lune se montre environné d'une couronne de lumière qui décroît en intensité à partir du limbe et présente l'aspect des gloires qui figurent dans les peintures religieuses. Cette

apparence doit-elle être attribuée à l'existence d'une atmosphère environnant la partie visible du globe solaire? Le caractère de la visibilité d'une portion étendue du limbe lunaire en dehors du Soleil, constaté à l'aide de puissants instruments, permettra sans doute d'élucider cette question.

De tous temps, les astronomes ont tenu à observer les instants du commencement et de la fin des éclipses de Soleil, et particulièrement le moment où le dernier rayon disparaît et celui où le Soleil envoie ses premiers rayons, dans les éclipses totales. Ces observations contribuent au perfectionnement des Tables astronomiques; mais on n'en peut tirer tout le parti possible, si la position géographique de la station n'est pas exactement déterminée.

La photographie est appelée à rendre d'importants services dans les observations d'éclipses; on peut lui demander des moyens de mesure, et surtout le moyen de compléter la partie descriptive de l'aspect général du phénomène.

D'autres observations, que M. Yvon-Villarceau passe en revue, méritent encore de fixer l'attention des observateurs.

Précédant de quelques jours les autres membres de la Commission française, MM. Yvon-Villarceau et Ismaïl Effendi arrivaient le 10 juillet au *Sanctuaire de Moncayo,* station sise à mi-côte de la montagne de ce nom; ils y trouvèrent la Commission espagnole qui avait tout préparé pour offrir à nos astronomes une confortable hospitalité. Deux jours avant l'éclipse, trois instruments parallactiques, les appareils photographiques et une lunette méridienne étaient installés et orientés.

Le temps, qui jusque-là était resté beau pendant la journée, changea tout à coup; et le 17, veille de l'éclipse, M. le Directeur de l'Observatoire de Paris, qui venait d'arriver, conçut de telles craintes sur l'état de l'atmosphère, qu'il décida MM. Foucault, Tissot et Novella, chef de la Mission espagnole, à gagner la plaine dès le lendemain matin, pour échapper aux nuages dont la montagne menaçait de rester environnée. Néanmoins, les nuages se dissipèrent quelques instants après le premier contact, et il fut donné aux astronomes qui étaient restés au Sanctuaire (1) d'observer l'un des plus magnifiques et imposants phénomènes que nous offre le spectacle de la nature.

A l'instant où le dernier rayon du Soleil disparut, il se fit tout-à-coup un profond silence au milieu d'une foule de 1500 personnes, réunies autour des astronomes, et qui n'avait cessé d'être bruyante jusque là. On n'entendit plus que les accents saccadés d'une voix unique qui comptait le temps pour tous les observateurs et ajoutait, s'il est possible, à la solennité de la scène. Au moment où le premier rayon solaire jaillit comme un éclair, un immense cri de joie s'échappa de toutes les poitrines, comme un hommage instinctif rendu au retour de l'astre qui entretient la vie sur notre pla-

(1) Ce sont MM. Yvon-Villarceau, Chacornac, Ismaïl Effendi et Arigno, l'un des assistants de l'Observatoire de Madrid. Deux professeurs des universités de Saragosse et de Madrid, MM. Causada et Sacnz, sont également restés au *Sanctuaire* et y ont fait des opérations photographiques.

nète. Il faut avoir été témoin d'un pareil spectacle pour en comprendre le grandiose et la majesté.

Les observations faites pendant la durée de l'éclipse totale ont atteint le but que se proposait la Commission ; et, quelques jours après, M. Yvon-Villarceau, avait la satisfaction d'annoncer à M. le Directeur de l'Observatoire de Paris, que ses calculs, fondés sur l'hypothèse que les protubérances sont des appendices du globe solaire, leur attribuent des variations de position précisément identiques avec celles qui résultent des observations faites au Sanctuaire de Moncayo.

Le contour du disque lunaire se dessina jusqu'à une assez grande distance du Soleil, longtemps avant et après l'éclipse totale. Faut-il attribuer ce phénomène à une illumination réelle du disque lunaire produite par la lumière cendrée, lumière réfléchie vers la Lune par les portions de la surface terrestre qui ne sont point atteintes par l'ombre de la Lune? Cette explication paraît inadmissible; car, avec d'assez faibles lunettes, on distingue ordinairement, dans l'espace où brille la lumière cendrée, quelques détails des configurations de notre satellite; tandis que, durant l'éclipse, les puissants instruments dont on a fait usage n'ont permis d'apercevoir aucun détail de ce genre. La visibilité du disque lunaire hors du Soleil serait de l'ordre négatif et résulterait de ce que le disque de la Lune, en se projetant sur l'atmosphère lumineuse à laquelle serait due la couronne, en intercepterait les rayons, de manière à produire, sur un fond blanc, l'effet d'une découpure.

Un autre fait observé par M. Yvon-Villarceau, au Moncayo, et par M. le Directeur de l'Observatoire, à la station qu'il avait choisie près de la ville de Tarazzone, est la présence d'une sorte de nuage entièrement séparé du corps du Soleil; ce nuage avait la forme d'un croissant tournant sa concavité vers l'astre; il était situé entre le Nord et l'Est. Un tel nuage ne se concevrait guère sans l'existence d'une atmosphère et présenterait une nouvelle confirmation de la théorie qui attribue la lumière de la couronne à cette même atmosphère.

Des dessins descriptifs fort intéressants, et présentant les variations d'aspect du contour lunaire pendant l'éclipse totale, ont été exécutés par MM. Chacornac et Ismaïl Effendi.

M. Ismaïl Effendi a d'ailleurs observé les contacts.

Les expériences photographiques de M. Foucault ont montré que la lumière de l'auréole impressionne les plaques sensibles dans un temps très-court, une fraction de seconde.

Les déterminations géographiques ont été faites de concert avec les astronomes espagnols. Celles relatives au Sanctuaire de Moncayo ont retenu M. Yvon-Villarceau dix jours encore à cette station : une semaine a suffi au même astronome pour les déterminations relatives à la station de Tarazzone où s'était établi M. le Directeur de l'Observatoire de Paris. La première des stations a été reliée à l'Observatoire de Madrid, au moyen des signaux électriques et du transport des chronomètres; la seconde au moyen du télégraphe électrique et des signaux de feu. Le poste télégra-

phique de Tudéla était le même dans les deux opérations ; il était occupé par M. Novella qui transmettait les signaux à Madrid.

Dans ces dernières opérations M. Yvon-Villarceau s'est aidé du concours de MM. Ismaïl Effendi et Tissot, au zèle éclairé desquels il se plaît à rendre hommage.

En résumé : l'existence, autour du Soleil, d'une atmosphère dans laquelle flottent des matières d'apparence gazeuse, et la réalité de la connexion des protubérances avec le disque apparent du Soleil ; tels sont les principaux résultats acquis à la science par l'expédition francaise chargée d'observer en Espagne l'éclipse totale du 18 juillet dernier.

M. Yvon-Villarceau termine en signalant à ses confrères l'assistance et le concours dévoués que lui ont prêtés deux compatriotes établis à Tuléda, MM. Bouchet et Gabriel de Berthoumé, attachés au chemin de fer de Pamplune à Saragosse, dont l'un ingénieur civil.

M. le Président remercie M. Yvon-Villarceau de son intéressante communication.

M. C. Tronquoy rend compte ensuite des tables et tableaux d'intérêt, des annuités et rentes viagères de M. Eugène Péreire.

« Etudier les principes généraux du calcul de l'intérêt, en déduire des « formules simples et d'un usage facile, les appliquer d'abord à des exem- « ples variés, puis les prendre pour bases d'une série de tables numéri- « ques » et de tableaux graphiques, tel est le but que s'est proposé M. Eugène Péreire, dans deux ouvrages dont il a fait hommage à la Société.

Le premier a pour titre : *Tables de l'intérêt composé, des annuités et des rentes viagères.*

Le deuxième : *Tableaux sur les questions d'intérêt et d'assurance.*

Le Premier de ces ouvrages se divise en deux parties, l'une contenant une théorie mathématique complète des questions d'intérêt, des annuités et des rentes viagères, l'autre des tables numériques. M. Eugène Péreire, en commençant, rappelle que toute la théorie relative aux questions d'intérêt, de rente, etc., peut être ramenée à un problème unique dont la solution est de la plus grande simplicité :

« Il s'agit toujours, dit-il, d'une ou plusieurs sommes prêtées pour un « temps déterminé et qui doivent être remboursées avec certains avantages. « La stipulation de ces avantages a donné naissance à toutes les combinai- « sons d'intérêt, parmi lesquelles on peut distinguer : 1° le rembourse- « ment, dit à intérêt simple, en un ou plusieurs payements ; 2° le rem- « boursement à intérêts composés, qui peut aussi s'opérer en plusieurs fois. « Dans cette dernière catégorie viennent se ranger les remboursements « qui se font à l'aide d'annuités fixes ou variables et les placements viagers. »

Après avoir ainsi établi les considérations, qui lui ont servi de règle, M. Eugène Péreire examine successivement les questions qui peuvent être posées sur les intérêts simples, les rentes perpétuelles, l'escompte, les intérêts composés, les annuités, les annuités fixes, les annuités variables, etc.

Enfin, il aborde les questions de rentes viagères et assurances sur la vie, qu'il considère comme un cas particulier de la théorie des emprunts rem-

boursables par annuités variables, c'est-à-dire décroissant suivant des proportions indiquées dans les tables de survie, qu'on appelle ordinairement *tables de mortalité*.

La solution des problèmes qui se présentent dans toutes ces questions conduit à des formules dont le calcul est plus ou moins long, et M. Eugène Péreire, pour abréger les calculs, a terminé son travail par onze tables numériques qui donnent les résultats suivants :

1° Conversions des jours en fractions décimales de l'année de 365 jours ;

2° Valeur de 1 fr. placé à intérêt composé, après un certain nombre d'années ;

3° Valeur de 1 fr. placé à intérêt composé, après un certain nombre de mois ;

4° Valeur actuelle de 1 fr. payable au bout d'un certain nombre d'années ;

5° Valeur acquise à la fin de chaque année par le placement annuel de 1 fr. à des taux donnés.

6° Temps nécessaire pour doubler, tripler, etc. un capital.

7° Valeur actuelle d'un certain nombre d'annuités de 1 fr. payables à la fin de chaque année ;

8° Annuité par laquelle on peut amortir un capital de 1 fr. au bout d'un certain nombre d'années, à différents taux ;

9° Temps nécessaire à l'amortissement d'un capital de 100 fr., lorsqu'on paye tous les ans, outre l'intérêt simple, une somme variable ;

La Table X reproduit diverses tables de mortalité de France, de Belgique, de Hollande, de Suède, d'Angleterre, etc.

La Table XI donne les rentes viagères sur une tête, à divers taux et conformément à la table de Déparcieux, les rentes viagères sur deux têtes, les assurances sur la vie sur une tête et sur plusieurs têtes ; ces tables sont précédées d'une série d'exemples qui servent à en indiquer l'usage pratique, qui réduisent, dans la plupart des cas, les calculs les plus compliqués aux plus simples opérations de l'arithmétique.

Les tableaux contenus dans le deuxième de ces ouvrages peuvent être divisés en trois catégories :

1° Des tableaux donnant la représentation graphique, au moyen de courbes, des principales formules de l'intérêt des annuités et des rentes viagères, courbes qui correspondent aux tables numériques publiées sur le même sujet ;

2° Des tableaux représentant également par des courbes des documents statistiques tels que : la mortalité pour divers pays ; le prix du pain comparé au nombre de décès dans la ville de Paris ; les fluctuations du cours de la rente française, depuis 1797 jusqu'en 1860, en regard des événements politiques les plus importants ;

3° Enfin, des tableaux donnant la conversion réciproque des mesures de longueur, des poids et monnaies des différents pays.

Il est inutile, au sein de notre Société, d'insister sur les avantages que présente le mode de représentation graphique si souvent employé par les

ingénieurs, pour rendre sensible à l'œil les lois les plus complexes des faits qu'ils rencontrent dans la pratique de leur art.

Nous appellerons seulement l'attention :

Sur le tableau 2, qui donne la mortalité en Angleterre pour différentes professions.

Sur le tableau 12, qui indique, d'après Kerseboom, tontinier hollandais, la somme à payer immédiatement pour une assurance de 100 fr. à la fin de l'année du décès, la valeur actuelle d'une rente viagère de 1 fr. à 5 0/0.

La rente viagère à recevoir pour une prime unique de 100 fr. à 5 0/0, etc.

Sur les tableaux 15 et 16, qui présentent les tarifs des Compagnies françaises d'assurance sur la vie à primes uniques et à primes annuelles.

Chacun de tous ces tableaux, gravé avec le plus grand soin, porte une légende.

Cette légende, en complétant un texte un peu sommaire placé en introduction, rend facile pour tout le monde l'usage des tableaux qui donnent presque toujours des résultats suffisamment approchés

Mais lorsqu'il sera nécessaire d'avoir des résultats tout-à-fait exacts, on ne pourra avoir meilleur guide et trouver un secours plus efficace que les tables de l'intérêt, des annuités et des rentes viagères.

En effet, comme nous l'avons dit, la première partie de cet ouvrage donne la théorie complète des questions de ce genre. Revenant sur les travaux de ses devanciers, M. Eugène Péreire, dans cette partie de son travail, a exposé clairement tous les raisonnements qui l'ont conduit à ses formules simples, élégantes et commodes pour le calcul.

Elles lui ont servi à compléter, à calculer à nouveau ou à vérifier les résultats donnés sous la même forme par ses devanciers, Smart 1726, Moivre, Morriss 1735, Shevins 1741, Richardson's, Vega, Grémillet, Violaine et tant d'autres qui, malgré leur science, ont laissé échapper quelques erreurs de théorie, de calcul ou d'impression, et qui de plus n'ayant pas choisi pour leurs tables de taux d'intérêt croissant suivant une loi régulière, ne permettent pas aux praticiens de s'en servir par interpolation aussi commodément que des tables de M. Péreire. Il est inutile d'insister plus longtemps sur le mérite de cet ouvrage, quoiqu'il soit à regretter que quelques fautes d'impression s'y soient glissées (elles ont été corrigées à la main sur tous les exemplaires livrés au public), mais, tel qu'il est, il forme un recueil qui va à tout et à tous, il groupe et coordonne tout ce qui avait été fait sur la matière depuis un siècle et demi, en éliminant des résultats sans utilité réelle et ajoutant des résultats qui n'avaient pas encore été donnés.

Les tables et les tableaux, par la variété des solutions qu'ils présentent, par la correction et l'étendue des calculs qu'ils renferment, mettent à la portée de chacun les plus sûrs éléments d'appréciation.

Ils seront utiles à toutes les classes de la société et particulièrement aux ingénieurs, qui pour l'exécution de leurs projets sont souvent forcés d'avoir recours à l'association des capitaux, et qui à notre époque doivent étudier les questions qui leur sont soumises, non seulement au point de vue de l'art, mais encore sous le apport financier.

M. le Président remercie, au nom de la Société, M. Eugène Péreire, de son travail, et M. C. Tronquoy, du résumé qu'il en a bien voulu faire.

SÉANCE DU 16 NOVEMBRE 1860

Présidence de M. Eugène Flachat, *Vice-Président.*

M. le Président donne lecture de l'*extrait d'une lettre que M. Gouin, ingénieur des Ponts-et-Chaussées, lui a adressée le 13 novembre dernier.*

« Permettez-moi d'appeler votre attention sur un bulletin de la Société des Ingénieurs civils, séance du 5 octobre 1860, où M. Larpent parle de ma découverte, comme étant identique à la sienne et cherche à revendiquer l'honneur de la priorité.

« Je n'ai pas assurément la prétention de croire que l'idée mère de mon système n'ait pas pu germer dans un autre cerveau que le mien, l'expérience ayant prouvé que les découvertes utiles, arrivées à leur point d'éclosion, surgissent un peu de partout dans le monde des intelligences ; mais puisqu'il est convenu qu'en fait d'invention le plus grand honneur appartient au premier divulgateur, je ne vois pas pourquoi je n'essaierais pas de m'assurer justement ce bénéfice.

« Lorsque j'eus l'honneur de vous présenter mon système à la fin du mois de juin dernier, il vous parut complet et nouveau, et vous voulûtes bien m'exprimer le regret de ne l'avoir pas connu plus tôt pour pouvoir le citer dans la seconde partie de votre travail sur la traversée des Alpes par un chemin de fer, alors imprimé. M. Emile Barrault, présent à cet entrevue, énonça une opinion tout aussi favorable ; les mêmes encouragements me furent donnés par MM. Mary, Clapeyron, Le Chatelier, Gouin, Loyd ; et la même impression de nouveauté fut unanime chez tous les ingénieurs.

« Vous connaissiez à cette époque le système de M. Larpent, et vous avez eu la bonté de m'adresser, le 6 juillet, le calque du dessin que vous avez encore entre les mains (procès-verbal de la séance du 5 octobre) ; vous m'écriviez, en même temps, que l'idée de M. Larpent était bien celle du balancier oscillatoire, mais sans indication de convergence de l'arbre portant le balancier, ni de la disposition des glissières. Réduite à l'idée du balancier oscillatoire, l'invention de M. Larpent ne serait pas nouvelle. On peut lire dans l'*Encyclopédie Roret, Manuel des chemins de fer* par M. Emile With, page 366 et planche 14 (1857), la description d'une machine articulée à balanciers oscillatoires, imaginée par M. Lucien

Rarchaert et dont l'examen indique l'impraticabilité, précisément parce que l'auteur ne s'est pas préoccupé d'assurer les conditions nécessaires de symétrie de liaison, par rapport à l'axe de support des balanciers. M. Larpent n'a sans doute pas eu connaissance de cette particularité, car il n'eût pas manqué d'en parler et je l'ai moi-même ignorée jusqu'au 25 juillet 1860, date précise à laquelle ce manuel m'est tombé entre les mains. Si M. Larpent avait eu connaissance de ce travail, il aurait sans doute indiqué sur son dessin les seules dispositions qui fussent nouvelles, c'est-à-dire celles destinées à assurer l'égalité de distance entre l'axe support des balanciers et les bouts des essieux les plus rapprochés; tandis que M. Larpent, ignorant ce précédent, et n'ayant imaginé de son côté que le balancier oscillatoire, idée d'ailleurs féconde, n'aura pu faire connaître et indiquer sur son dessin, faute de mieux, que cette disposition du balancier.

« Le brevet que j'ai pris, le 25 février 1860, non dans un but de spéculation, mais d'après les conseils de mes amis, pour assurer une date certaine à l'invention, a mis dès cette époque le public en possession de mon idée, alors aussi complète qu'aujourd'hui. Il n'a pas tenu à moi qu'une plus grande publicité ne lui fût donnée depuis, etc.. »

M. Larpent demande la parole.

Il s'exprime en ces termes :

« Il n'est jamais entré dans mon esprit, la pensée d'accuser M. Gouin d'avoir copié mon système, pour s'en attribuer le mérite ; au contraire, j'ai toujours dit, que l'auteur de la lettre pouvait fort bien ignorer l'existence de ma découverte, lorsqu'il a trouvé sa solution. La conclusion à tirer, c'est que, inconnu l'un à l'autre, et sans consulter ce qui avait été fait par nos devanciers sur la question, M. Gouin et moi avons imaginé, à des époques différentes, des procédés analogues, pour résoudre un problème intéressant. Or, suivant les termes même de la lettre, il est convenu, qu'en fait d'invention, le plus grand honneur appartient un premier divulgateur; je ne vois donc pas pourquoi je n'essaierais pas de me conserver cet honneur, puisque la divulgation de mon procédé a été faite, six mois au moins, avant celle de mon compétiteur.

« L'antériorité de la découverte du levier oscillatoire et compensateur, que M. Gouin m'accorde sur lui, avec une loyauté dont je lui sais gré, formant la base de mon système d'accouplement, tant pour le mécanisme d'entraînement des roues, que pour celui qui est affecté au maintien de l'axe du levier d'oscillation à égale distance des essieux convergents, je demande si, lors de ma communication, et à plus forte raison aujourd'hui, j'étais et je suis en droit de dire que toute solution du problème d'accouplement des essieux convergents, qui aura pour principe mon levier compensateur, sera identique à la mienne?

« Ainsi il est erroné de dire que mon procédé n'était pas complet, parce qu'il n'était pas fait mention du moyen à employer pour maintenir le parallélisme de l'axe du levier d'oscillation avec les essieux, lorsque la machine parcourt une voie droite, et la position du même axe, suivant la bissectrice de l'angle formé par le prolongement des essieux convergents, vers le

centre de la courbe parcourue par la machine ; c'est le contraire qui est vrai. J'ai insisté fortement, auprès de toutes les personnes qui m'ont fait l'honneur d'écouter la démonstration de mon nouveau système, sur les conditions de position auxquelles devait satisfaire l'axe du levier d'oscillation, pour que le système d'accouplement fonctionnât régulièrement ; quant aux moyens à employer, je ne laissais que l'embarras du choix, puisque j'indiquais trois procédés différents, pour remplir ce but.

« Mes trois moyens, pour assurer la position normale de l'axe du levier d'oscillation dans toutes les positions de la machine, soit en ligne droite ou en courbe, sont aussi nouveaux que l'idée principale d'accouplement, et ils ont été divulgués en même temps. Ils ont, tous les trois, pour base l'application du levier compensateur, qu'il ne faut pas confondre avec le levier d'oscillation, et ils diffèrent entre eux par le mode de support de l'axe.

« Le premier moyen est celui indiqué sur le dessin, en projection oblique, joint à ma communication, sur lequel l'axe est suspendu à des points fixes, au moyen de deux bielles.

« Le deuxième diffère du précédent, en ce que l'axe est supporté par une barre semblable à celle des freins de wagons ; elle est fixée d'un côté à la boîte à graisse d'un essieu, et mobile sur la boîte à graisse de l'autre essieu.

« Le troisième diffère des deux autres, en ce que l'axe d'oscillation est supporté par les longerons de la machine.

« Dans les trois cas, de fortes bielles, formant contrefiches, relient les extrémités du levier compensateur à des points fixes, soit aux boîtes à graisse, soit aux longerons ; elles ont pour double but de maintenir l'axe dans sa position normale, et d'arcbouter l'effort des pistons dans leur mouvement de va-et-vient.

« Je reconnais que mes procédés n'ont aucun rapport avec la disposition employée par M. Gouin, pour remplir le même but ; laquelle disposition n'est autre chose, qu'une heureuse application du parallélogramme de M. Arnoux, en usage au chemin de fer de Sceaux, depuis longtemps, pour obtenir la convergence des essieux de wagons.

« J'avoue franchement que je n'avais pas songé au parallélogramme de M. Arnoux, dont l'emploi par M. Gouin m'a été révélé, pour la première fois, en examinant son brevet au mois d'octobre dernier. Dans mon opinion, cette disposition, judicieuse au point de vue théorique, me paraît très-contestable au point de vue d'application mécanique spéciale aux doubles fonctions qu'elle doit remplir.

« Je me demande donc avec une surprise bien légitime, et que chacun comprendra, comment l'honorable Président de cette séance a pu considérer le système de M. Gouin comme nouveau et inconnu pour lui ; et écrire plus tard que mon idée était bien celle du levier oscillatoire, mais sans indication de moyens de convergence de l'axe de ce levier. M. Flachat possédait cependant, depuis près d'une année, un dessin indiquant non-seulement l'épure de l'accouplement, mais encore des détails crayonnés en tous sens, de mes divers moyens, propre à assurer la position normale de l'axe des

leviers compensateurs, et aussi les croquis indiquant des solutions aux objections qui ne pouvaient manquer de m'être faites de la part d'un ingénieur aussi compétent. Je ne puis m'expliquer un accueil aussi bienveillant du système de M. Gouin, de la part de M. Flachat, qu'en admettant l'une des hypothèses suivantes :

« Ou M. Flachat ne s'est plus rappelé les détails de ma découverte, et alors sa mémoire lui a fait défaut en examinant le système de M. Gouin, et en lui écrivant sa lettre du 6 juillet dernier.

« Ou bien il a confondu les leviers d'oscillation compensateurs, servant spécialement à l'accouplement des roues, avec les leviers, seulement compensateurs, formant la base des dispositions que je proposais pour assurer la position de l'axe.

« Ou bien enfin, M. Flachat ne reconnaissait pas, alors, comme aujourd'hui, la nécessité de maintenir la position de l'axe d'oscillation ; et mes moyens de solution n'ont pu fixer convenablement son attention.

« Dans tous les cas, il est bien évident qu'à l'époque où j'ai remis mon projet, il devait être complet, et ne rien laisser à désirer dans l'esprit de M. Flachat, car, si j'avais omis d'indiquer les moyens propres à assurer une condition aussi indispensable que celle de l'équidistance de l'axe d'oscillation aux essieux convergents, il n'aurait pas manqué de me signaler cet oubli, en m'engageant à le réparer.

« Je puis citer ici, les noms de quelques autres ingénieurs auxquels j'ai donné la description de mon nouveau mode d'accouplement, à la même époque qu'à M. Flachat (1).

« Il demeure acquis à M. Gouin, l'application du parallélogramme articulé de M. Arnoux, dont il se sert pour faire converger l'axe de mon levier d'oscillation; puis, ses glissières.

« A moi, il me resterait la priorité de la découverte de l'application du levier d'oscillation, si M. Gouin, contraint d'y renoncer pour lui-même, n'avait jugé bon de l'attribuer à un autre, ce qui ne me paraît point fondé.

« Je ne pense pas qu'on veuille me contester la nouveauté de mes procédés aptes à maintenir l'axe d'oscillation dans la position normale ; à supposer même que l'idée ne m'en serait pas venue plus tôt, rien ne m'empêcherait, dès à présent, de prendre les brevets pour leur application.

« Je ne suis donc pas surpris d'apprendre, par M. Gouin, que l'idée du levier d'oscillation n'est pas nouvelle, et qu'elle aurait été trouvée ou décrite en l'année 1857. Je m'étonne seulement que l'honorable ingénieur ne la fasse pas remonter plus haut, car je crois que Watt s'est servi du levier oscillant sous forme de balancier, dans la construction de ses premières machines à vapeur. »

M. Flachat répond que, parmi les hypothèses sur les causes de l'oubli qui lui est attribué, que l'invention, de M. Larpent, des balanciers d'oscillation était accompagnée d'un appareil de leviers compensateurs pour main-

(1) MM. *Delpech aîné, Benoît Duportail, Regnault, Courras, Jules Hunebelle* et *Mesnard*.

tenir l'équidistance entre l'arbre portant les balanciers d'oscillation et les essieux, la plus rationnelle est que l'invention ne s'est pas présentée à son esprit dans un autre but que la transmission du mouvement à des trucks ou systèmes d'essieux portant le même châssis : l'arbre des balanciers se trouvant alors suspendu au châssis lui-même et fixe, l'équidistance était obtenue.

Les dispositions de MM. Larpent et Gouin, propres à obtenir autrement l'équidistance, ne s'appliquent qu'au cas où l'arbre des balanciers d'oscillation est placé entre les châssis de deux véhicules, et alors la discussion sur ce point est sans objet, puisque les diverses dispositions de M. Larpent sont complétement différentes de celles de M. Gouin. Il ne s'agit donc point ici de priorité.

La priorité appartient, pour les balanciers d'oscillation, à M. Larpent ; elle n'appartiendra, quant aux procédés propres à établir l'équidistance de l'arbre portant ces balanciers, avec les essieux, qu'à celui des deux inventeurs dont l'expérience sanctionnera le système. Cette expérience est indispensable pour fixer le mérite relatif de chacune des diverses dispositions proposées.

M. Larpent fait observer qu'il a bien songé à fixer les axes de ses leviers d'oscillation à la chaudière de sa machine articulée, qui doit reposer, comme on sait, et pivoter sur des trucks ; la chaudière faisant alors l'office du châssis supplémentaire posé sur les trucks ou système d'essieux ; mais, outre l'inconvénient d'intéresser la chaudière par des pièces de mouvement devant être aussi fatiguées, il a jugé que l'équidistance des axes aux essieux convergents serait obtenue d'une manière plus rationnelle et assurée plus économiquement, en adoptant l'une des dispositions imaginées par lui pour remplir ce but.

MM. Goumet et Wohlguemuth ont été reçus membres de la Société.

SÉANCE DU 7 DÉCEMBRE 1860

Présidence de M. Laurens, *Vice-Président.*

M. le Président annonce que M. Thouin, membre de la Société, ingénieur chef du mouvement de la compagnie du chemin de fer du Nord, vient d'être nommé chevalier de la Légion-d'Honneur.

La parole est donnée à M. Faure, pour une communication relative à une méthode nouvelle d'extraction du zinc.

Au nom de M. Adrien Muller, membre de la Société, M. Faure présente

un mémoire rédigé par MM. A. Muller et Lencauchez, ingénieurs, dans lequel les auteurs, après avoir exposé succinctement les propriétés du zinc et les principes généraux qui servent de base aux procédés d'extraction pratiqués jusqu'à ce jour, ont développé les considérations théoriques qui les ont conduits au procédé nouveau

Pour faire comprendre l'importance de la question traitée par MM. Muller et Lencauchez dans cette étude qui lui a paru parfaitement rationnelle, M. Faure rappelle les mains-d'œuvres pénibles et coûteuses, inhérentes aux procédés d'extraction du zinc, ***per ascensum***, connus sous le nom de ***Méthode Belge*** et ***Méthode Silésienne***, les pertes de métal qu'impliquent forcément la nature et la discontinuité des opérations usitées, dans lesquelles le zinc à l'état de vapeur métallique se trouve en contact fréquent avec l'air atmosphérique, enfin les consommations énormes de combustible qui sont comprises entre 7 et 12 fois le poids du métal obtenu.

Les études et les tentatives antérieurement faites dans le but de substituer aux cornues de la méthode Belge et aux moufles du procédé Silésien, un appareil à marche continue et indéfinie du genre des hauts-fourneaux de la métallurgie du fer, étaient peu ou point connues de MM. Muller et Lencauchez, lorsqu'ils ont commencé leurs travaux sur la matière. Ils ignoraient notamment les travaux de M. Lesoigne, métallurgiste belge distingué. Ils ont dû reconnaître et constater, depuis, que les recherches et les expérimentations tentées déjà dans cette voie avaient abouti à un insuccès plus ou moins radical, sans pouvoir atteindre à d'autre résultat que la production d'une matière plus ou moins infusible, connue sous le nom de zinc gris.

En partant de cette idée première que les vapeurs de zinc, à l'état naissant, y persistent tant qu'elles peuvent se répandre et se développer dans une atmosphère de gaz oxyde de carbone, tandis qu'au contraire elles s'oxydent rapidement au contact des vapeurs d'eau et d'acide carbonique, MM. Muller et Lencauchez ont pensé à introduire par le gueulard de la cuve d'un haut-fourneau des charges composées de combustible, de chaux vive et de briquettes formées de minerai de zinc grillé et de combustible pulvérulent, toutes ces matières soumises préalablement à une dessiccation énergique et complète.

Le courant d'air chaud insufflé par les tuyères du haut-fourneau traverse la région de plus haute température de l'appareil et arrive à la région des étalages et du ventre transformé en oxide de carbone. En même temps le zinc réduit se vaporise pendant que les laitiers et les métaux étrangers subissant les transformations ordinaires arrivent au creuset. Enfin des prises de gaz, pratiquées au pourtour du ventre, livrent passage aux vapeurs de zinc qui vont remplir des chambres de condensation sur les parois desquelles le zinc se dépose soit à l'état d'éponge, soit à l'état liquide.

Tel est dans son ensemble le procédé décrit au mémoire des auteurs, avec des considérations et des données théoriques qui semblent exactes.

Des expériences faites sur un cubilot alimenté par une soufflerie, et dans lequel des prises de gaz pratiquées à 2 ^{m}. 00 environ au-dessus du creuset

livraient passage aux vapeurs produites en les conduisant dans un système rudimentaire de tuyaux condenseurs, ont confirmé d'une manière remarquable les prévisions de MM. Muller et Lencauchez.

M. Faure a pu suivre plusieurs de ces expériences faites au point de vue exclusif de la démonstration matérielle de la *production du zinc en nature*, à l'état d'éponge, de gouttelettes, de morceaux de zinc cristallisé d'une pureté remarquable ; mais dans lesquelles on ne pouvait songer encore à constater les quantités relatives de métal produit et de combustible employé.

Il soumet aux membres présents divers échantillons. Enfin il annonce qu'une société s'est formée pour l'établissement d'une usine expérimentale exclusivement destinée à poursuivre la méthode nouvelle pour l'amener à l'état industriel et pratique.

Il termine en disant que tous ceux qui savent l'importance actuelle de la production du zinc, et *les Desiderata* de cette industrie qu'il est permis de croire encore à un état primitif presque, ne sauraient manquer de s'intéresser à l'avenir du procédé de MM. Muller et Lencauchez.

Quelques-uns des membres présents et entre autres MM. Thomas, Deligny et Ch. Laurent, semblent croire à l'avenir de la méthode qui vient d'être indiquée, et paraissent frappés de la beauté des échantillons produits, sans se dissimuler tout ce qui reste à faire aux auteurs avant d'avoir vaincu les difficultés de détail et d'exécution contre lesquelles ils auront à lutter.

M. le Président remercie M. Faure de cette intéressante communication.

La parole est donnée à M. Ermel, pour la lecture d'une note de M. Carvallo, ingénieur des ponts-et-chaussées, intitulée : « *Recherches sur les lois expérimentales du tassement des remblais*. » Ce mémoire, extrait d'un travail plus considérable soumis à l'Académie des sciences, s'appuie sur 29,600 expériences au niveau à bulle d'air, faites sur le chemin de fer de Carcassonne à Narbonne et Perpignan. Les conclusions en sont les suivantes : 1° Les remblais exécutés d'une seule couche tassent beaucoup plus que ceux faits par couches horizontales de 0m.40 à 0m.50 d'épaisseur environ ;

2° Le coëfficient de tassement, variable avec la nature du remblais, a été reconnu indépendant de la hauteur du remblais, ces derniers variant de 0m.80 à 6m. de hauteur environ sur cette portion du chemin de fer du Midi ;

3° Le tassement des remblais augmente à mesure que les matériaux qui les composent sont plus légers ;

4° Les remblais foisonnent deux fois par an, au moment des pluies du printemps et de l'automne.

M. E. Roy indique, comme confirmant la note précédente, que, dans des tranchées en rochers, dans l'Aveyron, le foisonnement était considérable et qu'après l'emploi des déblais en remblais, il s'est produit un tassement de 4 0/0 sur des remblais de 10m. de hauteur.

M. Roy a remarqué que dans les remblais en terres mélangées de pierrailles, il y a moins de tassement que dans ceux exclusivement en terre.

Le tassement diminue aussi lorsqu'on a soin de réserver les matériaux les plus consistants pour former les parties extérieures.

M. le Président remercie M. Ermel de la communication qu'il a bien voulu faire, et M. Carvallo du travail dont il autorise la communication ; ce travail sera publié, *in extenso,* dans le Bulletin.

La parole est donnée ensuite à M. Hamers pour une communication relative à *l'emploi de la main-d'œuvre dans l'industrie.*

M. Hamers fait remarquer que l'heure avancée de la soirée ne lui permettra de lire qu'une partie restreinte de son mémoire. Il fait observer et il explique en outre, de même que dans une réunion précédente, que le fait de lire son mémoire en *deux séances* n'est pas exempt d'inconvénients, qu'il était et qu'il est encore facile d'éviter, puisque la lecture de ce manuscrit n'aurait demandé qu'un espace de temps moindre que la durée ordinaire d'une seule séance.

M. Faure et M. le Président insistent néanmoins pour que M. Hamers donne, sans plus attendre, un aperçu partiel des systèmes qu'il a imaginés, en attendant une communication plus étendue à faire lors d'une prochaine réunion.

M. Hamers se rend à cette invitation.

(Le court exposé présenté par M. Hamers, nécessairement incomplet, se fondra avec le résumé de ce qui sera lu dans la séance du 11 janvier prochain).

SÉANCE DU 21 DÉCEMBRE 1860

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE

Présidence de M. Vuigner

La parole est donnée à M. Loustau, trésorier, pour l'exposé de la situation financière de la Société.

M. le Président met aux voix l'approbation des comptes du trésorier. Ces comptes sont approuvés.

Le Président adresse au trésorier, au nom de la Société, des remercîments pour sa bonne et active gestion.

Il est ensuite procédé aux élections.

Les élections ont donné le résultat suivant :

BUREAU.

Président : M. Flachat (Eugène) O. ✱ ✱.

Vice-Présidents : MM. Forquenot.
Petiet (Jules) O ✱ ✱ ✱ ✱
Barrault (Alexis) ✱
Laurens ✱

Secrétaires : MM. Guillaume.
Peligot (Henri).
Tronquoy (Camille).
Richoux (Charles).

Trésorier : M. Loustau (Gustave) ✱

COMITÉ.

MM. Degousée ✱.
Faure (Auguste) ✱.
Nozo (Alfred) ✱ ✱.
Salvetat ✱.
Yvon-Villarceau ✱ ✱.
Laurent (Charles).
Mathias (Félix) ✱ ✱ ✱ ✱
Callon (Charles) ✱.
Arson.
Alcan (Michel) ✱.

MM. Vuigner (E.) O ✱ C ✱.
Chobrzynski ✱.
Alquié.
Love.
Molinos (Léon).
Gouin (E.) ✱.
Deligny.
Yvert (Léon).
Breguet ✱.
Thomas (Léonce) ✱.

NOTE

sur la Construction des Blocs artificiels en béton d'Asphalte, pour les fondations maritimes,

PAR

M. Léon MALO.

C'est un fait constaté depuis longtemps, que, dans un grand nombre de ports de mer, nul mortier ne peut résister à l'action prolongée de l'eau salée. Toutes les chaux, toutes les pouzzolanes, tous les ciments y ont été essayés sans résultat durable. On peut admettre qu'un mortier ne doit ses propriétés adhésives qu'à la formation, au moment de la *prise*, de silicates plus ou moins variés, dont la présence lui donne son énergie et son hydraulicité; ces silicates exposés à l'attaque incessante des sels de la mer, particulièrement des sels de magnésie, se décomposent, se transforment en produits solubles, et la cohésion est détruite.

Les applications de cette théorie sont générales, mais fort diverses dans leurs effets; soit que l'action des sels marins augmente, sur certains points, par l'agitation habituelle des eaux et diminue, ailleurs, par leur tranquillité, soit que le frottement du galet, qui sur certaines plages, est entraîné dans les vagues, accélère la décomposition, soit enfin que les dépôts de crustacés et les végétations marines possèdent la propriété de préserver de toute atteinte les maçonneries sur lesquelles ils peuvent naître, il est à remar-

quer que chaque port a ses matériaux préférés, que chaque ingénieur, après de savants et laborieux essais, s'est arrêté sur un mortier qui n'est pas celui de son voisin ni celui de son prédécesseur, et que lui-même abandonnera peut-être demain pour un meilleur.

Cependant les constructions de digues et de jetées, les défenses d'ouvrages maritimes, les agrandissements de ports et de bassins, se multiplient à mesure que s'accroît leur importance politique ou commerciale ; les études que l'on fait sur ce grave sujet prennent tous les jours un intérêt plus grand, et une solution devient à chaque instant plus nécessaire. Il serait téméraire, assurément, de déclarer le problème insoluble; en matière de travaux publics, il n'y a plus aujourd'hui de problème insoluble, mais l'insuccès des recherches a peut-être pour cause le cercle restreint dans lequel elles sont faites. En effet, jusqu'à présent, on s'est toujours adressé, pour obtenir le ciment des constructions, à des matières dont la chaux et l'argile forment la base, dont l'eau est l'agent transformateur et qui n'acquièrent leurs propriétés cohésives qu'à la suite d'une réaction chimique. C'est fort bien lorsqu'il s'agit de maçonnerie exposée seulement au contact inoffensif de l'eau douce, mais ce qui convient aux fondations en rivières a été jusqu'ici, l'expérience le montre partout, insuffisant pour résister à l'action corrosive de l'eau salée; il est tels points de l'Océan où tous les mortiers connus ont été successivement employés et successivement décomposés par la mer; ni la pouzzolane, ni la chaux du Theil, ni le ciment de Vassy, ni celui de Portland n'ont pu y subsister plus de huit ou dix ans.

Il est donc permis d'admettre que les phénomènes de destruction qui demandent de cinq à dix années pour se produire sur un point se manifesteront aussi, tôt ou tard, sur les autres, et suiveront leur cours dans un temps indéterminé, mais faible relativement à la durée que doivent avoir les grands travaux maritimes.

C'est principalement sur les blocs artificiels en béton ou en maçonnerie de moellons que s'exercent ces redoutables ravages; ces blocs, placés isolément sur le flanc des digues, pour en protéger les fondations, reçoivent le premier choc des vagues; leur six faces sont également exposées à l'assaut du flux et à celui bien plus fatigant encore du reflux. La condition première d'un bloc artificiel est de rester immobile; on est donc obligé de lui donner pour augmenter son assiette la forme d'un parallélipipède rectangle; aussi les angles attaqués les premiers sont-ils bientôt abattus, et, la décomposition se propageant de la surface au centre, l'intérieur est rapidement envahi et détruit; on peut voir dans tous les ports de mer de semblables effets.

Ce que je dis du mode de destruction des blocs s'applique également aux maçonneries, mais d'une manière moins immédiate; les murs de quai, par exemple, formant une masse compacte et considérable, n'offrant au contact de l'eau que leurs parements verticaux, c'est-à-dire une très-petite partie de leurs joints, sont bien moins exposés que les blocs; si la mer ronge les joints, on les refait, et l'économie générale du travail n'en est pas compromise; tandis qu'un bloc de béton, enfoui à plusieurs mètres au-dessous des basses eaux, est inaccessible aux réparations, les réparations eussent-elles les pouvoirs d'augmenter sa durée, ce qui n'est pas; on a tenté souvent et vainement de préserver, au moyen d'enduits, les blocs laissés à sec par la basse mer, et sur lesquels on a aperçu des commencements de décomposition; ces raccommodages n'ont prolongé que d'une manière insensible leur existence.

Le problème est donc celui-ci.

Trouver un ciment dont les éléments n'aient aucune affinité pour les sels de la mer.

Ce ciment, je crois que c'est l'asphalte.

Le mastic d'asphalte est un produit composé de la manière suivante :

On extrait à Seyssel (Ain), au Val-de-Travers (Suisse) et ailleurs, un carbonate de chaux tendre, imprégné naturellement de bitume ou *malthe*, dans la proportion de 8 de bitume pour 92 de carbonate. Ce calcaire est réduit en poudre, soumis à une cuisson de cinq ou six heures dans des chaudières spéciales, avec addition d'une petite quantité de bitume semblable à celui qu'il renferme déjà. Après cette cuisson, il est coulé en pains dans des moules cylindriques et expédié sur les travaux ; c'est la matière dont on fait les trottoirs. Ce mastic est un ciment des plus énergiques, il adhère à la pierre avec une telle force qu'on ne peut l'en détacher sans la casser ; il jouit enfin d'une sorte d'élasticité qui lui permet de supporter, surtout pendant les chaleurs, des chocs très-violents sans se briser ou se fissurer.

Ce ciment, dont, jusqu'ici, les applications ont été limitées à l'établissement des trottoirs, des chapes de voûtes et des terrasses de maisons, est appelé, je crois, à prendre dans la construction des blocs artificiels le rôle que les mortiers ordinaires n'ont pas su remplir. Des essais exécutés en grand l'hiver dernier, à l'embouchure de la Gironde, me permettent d'indiquer ici, avec quelques détails, les résultats que ce nouvel usage de l'asphalte, rationnel en théorie, a donné dans la pratique.

A priori, on peut affirmer qu'un morceau de mastic asphaltique doit séjourner indéfiniment dans l'eau de mer sans en être dégradé. En effet, le mastic asphaltique n'est autre chose qu'un carbonate de chaux dont tous les pores sont occupés par du *malthe*, ou, si l'on veut, c'est une masse compacte de grains calcaires agrégés entre eux par un bitume très-tenace qui enveloppe hermétiquement toutes les molécules et les colle les unes aux autres. Or, le carbonate de chaux est insensible aux agents marins et, d'ailleurs, chacun de ses atômes est protégé par une

Fig. 1. – Première couche de béton d'asphalte avec les moëllons d'arrachement.

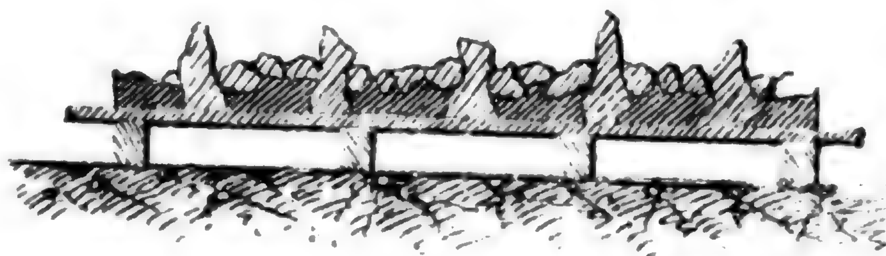


Fig. 2. – Noyeau en maçonnerie monté sur la couche inférieure de béton d'asphalte

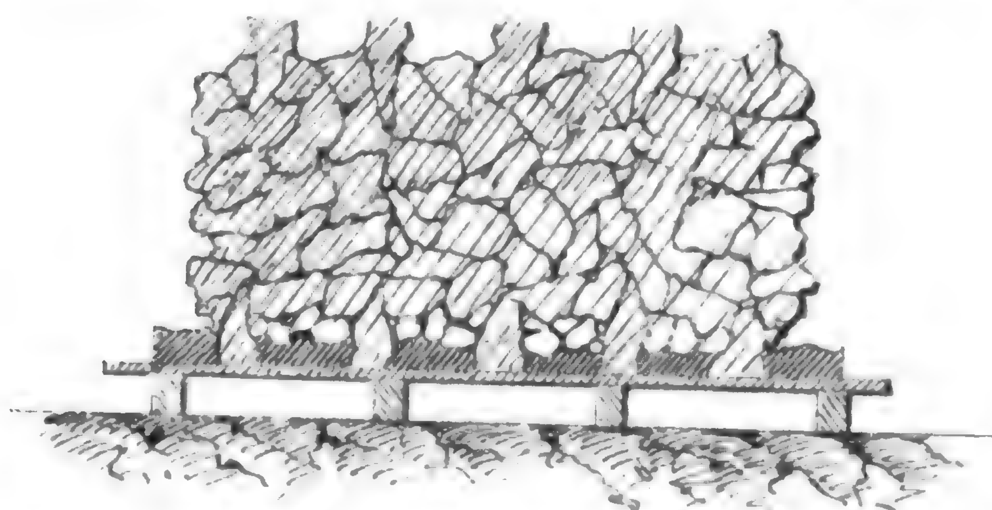
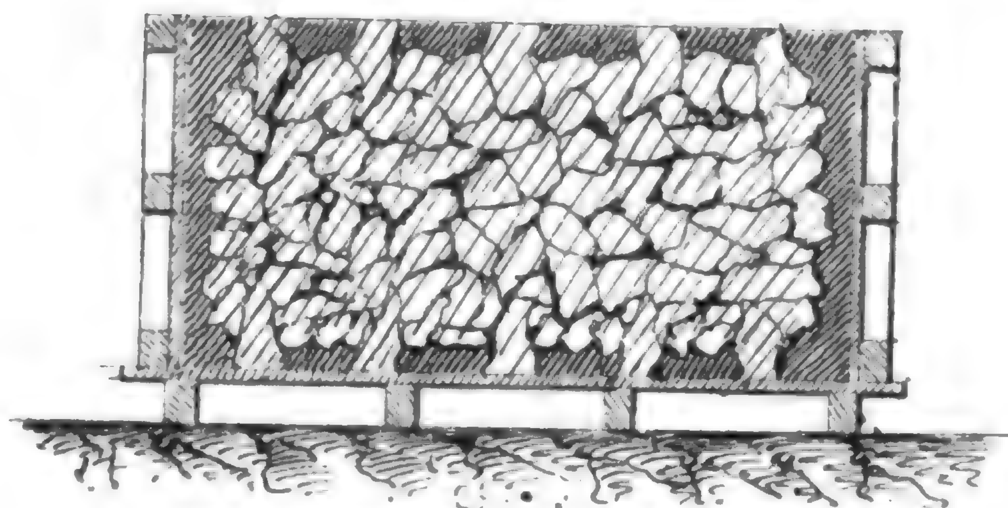


Fig. 3. – Bloc terminé et non encore demoulé.



Echelle. – 0,02 pour mètre

pellicule de bitume plus insensible encore, puisque les huiles, les éthers, les alcools, le naphte et l'essence de térébenthine, sont les seuls dissolvants qu'on lui connaisse.

C'est ce que l'expérience a démontré, autant qu'une expérience peut être concluante en pareille matière ; des blocs d'asphalte enchassés dans des blocs en maçonnerie et mis à la mer pendant le mois de novembre 1859, n'ont pas été seulement effleurés.

Vers le mois d'avril dernier, des essais en grand ont été faits aux travaux de défense de la Pointe de Grâve. Je ne saurais mieux expliquer la manière dont se construisent les blocs artificiels d'asphalte, qu'en indiquant comment on s'y est pris dans cette circonstance.

Le béton d'asphalte se prépare de la manière suivante :

Dans une chaudière à application ordinaire, semblable à celles qui se voient sur les trottoirs, on met 5 kil. de bitume pur et l'on chauffe ; le bitume fondu, on ajoute dans la chaudière environ 95 kil. de mastic asphaltique dont les pains ont été préalablement cassés en huit ou dix morceaux. Lorsque le mélange est entièrement liquide, ce qui, avec un feu soutenu, s'obtient au bout de deux heures à peu près, on y jette 50 kil. de pierre cassée, semblable à celle qui sert au chargement des routes macadamisées, ou de galets de toute grosseur jusqu'à celle d'un œuf, puis on brasse activement. Quant on voit que la pierre est complétement et uniformément imprégnée de mastic en fusion, on en ajoute une nouvelle dose égale à la première, puis enfin une troisième et l'on continue à brasser énergiquement.

Le mélange est alors composé ainsi qu'il suit :

Bitume pur.	5 kil.
Mastic d'asphalte.	95
Pierre cassée ou galets. . . .	150
Total.	250 kil.

Suivant les dimensions des chaudières employées, on pourrait

évidemment augmenter ou diminuer la charge totale en conservant ces proportions.

Un quart d'heure environ après qu'on aura mis le dernier lot de pierre, une demi-heure, si la pierre n'est pas parfaitement sèche, le béton est prêt à être coulé. L'ouvrier chargé de la conduite de l'opération doit saisir le moment où les bulles de vapeur provenant de l'humidité des cailloux cessent de s'échapper; quelques minutes de plus, la cuite brûlerait au fond de la chaudière.

Les blocs ordinaires cubent 9 mètres; leurs dimensions sont: $1^{m}50 \times 2^{m}00 \times 3^{m}00$. Pour les couler en béton d'asphalte, il suffit de monter un de ces châssis où se moulent les blocs en béton de mortier, et qui sont composés de quatre ais réunis à leurs angles par des tringles. On badigeonne les parois intérieures avec du lait de chaux, puis on y jette le mélange d'asphalte en le pilonnant jusqu'à ce que le moule soit plein; au bout de dix jours on démoule et on met le bloc à la mer de la manière ordinaire.

Les blocs ainsi construits ont un grave inconvénient; ils sont fort chers. En effet, l'asphalte est un produit coûteux qu'il ne faut pas prodiguer, et dans un bloc de 9 mètres cubes, dont la surface ne sera peut-être pas pendant des siècles attaquée à plus de quelques millimètres de profondeur, il se trouve une énorme quantité de matière dont le seul rôle est de faire du poids et de tenir de la place; une valeur considérable est donc inutilement enfouie dans la masse. Le défaut révélait de lui-même son correctif; il fallait simplement n'employer l'asphalte qu'à la surface et composer le centre avec des matériaux à bas prix, qui n'aient d'autre mérite que leur poids spécifique. C'est sur ce principe qu'ont été établis les blocs de la Pointe de Grâve.

Je vais donc donner une description détaillée de ces expériences, qui, sauf les modifications qu'une plus longue pratique pourra inspirer, peuvent être rigoureusement imitées; leur succès leur donne une garantie provisoirement suffisante.

Les blocs de la Pointe de Grâve sont des blocs mixtes, formés d'un noyau en maçonnerie de chaux grasse de Plassac, basse qualité, et d'une enveloppe en béton d'asphalte de 0m10 en moyenne, le tout donnant un cube de 9 mètres.

Voici comment est conduite l'opération :

Sur une plate-forme en madriers soutenus par des solives qui reposaient sur le sol, on a monté les quatre ais d'un châssis à mouler les blocs en béton ordinaire et l'on a formé une caisse cubant environ 9 mètres; au fond de cette caisse on a disposé en quinconce, et à une distance de 0m40 à 0m50 les uns des autres, des moellons à longue queue, piqués sur une de leurs petites faces et reposant sur cette face. Puis, après avoir préparé comme je l'ai indiqué plus haut le béton d'asphalte, on l'a coulé dans l'intervalle de ces pierres, et pilonné avec des dames en fer de 0m08 de côté, pesant environ 10 kilogr. On a ainsi formé au fond de la caisse, dans les intervalles laissés par des moellons, une couche de béton d'asphalte de 0m10 d'épaisseur ; avant que cette couche fût refroidie, on y a répandu du gros cailloux cassé, qu'on a damé fortement et qu'on a fait pénétrer dans le mastic jusqu'à moitié de son épaisseur. On a laissé ensuite refroidir.

Le lendemain on a enlevé les quatre ais du moule : le travail présentait alors l'aspect d'une couche d'asphalte de 0m10 d'épaisseur, ayant pour autres dimensions celles du moule, et de laquelle surgissaient çà et là des moellons fortement engagés dans la masse, saillants de 0m25 à 0m30 au-dessus de la surface supérieure, et dont les intervalles étaient occupés par la pierre cassée solidement collée à la surface. Ces queues de moellons et cette pierre cassée étaient destinées à amorcer la maçonnerie du noyau (fig. 1). (*Voir la planche, page* 366.)

L'assise inférieure ainsi préparée, on a monté le noyau ; c'est-à-dire qu'on a construit sur la couche de béton d'asphalte un bloc en maçonnerie de médiocre qualité ayant les dimensions du

bloc futur, moins $0^{m}10$ sur chaque face en moyenne. Les parements de ce noyau ont été réservés abruptes et irréguliers, chaque moellon saillant inégalement et chaque joint profondément dégradé (fig. 2).

Une précaution qui n'a point été prise à la Pointe de Grâve, mais que les expériences en petit ont démontrée excellente, consiste à brasser le noyau, avant la coulée de l'enveloppe, avec du bitume ou goudron très-chaud et très-liquide.

Le noyau bâti on l'a laissé prendre, puis, lorsque le mortier a été reconnu suffisamment durci, on a remonté les quatre ais du moule qui ont circonscrit ce noyau, tout en laissant entre eux et lui sur toutes les faces verticales une distance moyenne $0^{m}08$ et $0^{m}15$. Dans ce vide, on a coulé du béton d'asphalte jusqu'au dessus du moule. Comme, d'ailleurs, on avait aussi laissé, entre la face horizontale du noyau et le plan passant par les quatre arêtes supérieures des ais, une distance moyenne de $0^{m}10$, on a encore rempli ce vide de béton asphaltique, de façon que, lorsqu'on a démoulé, le noyau en maçonnerie s'est trouvé enveloppé de toute part d'une couche de béton d'asphalte de $0^{m}10$ d'épaisseur (fig. 3).

C'est ainsi qu'ont été faits les quatre blocs coulés à la Pointe de Grâve.

L'avenir dira ce que vaut pratiquement ce mode particulier de construction ; je ne sais si, tel que je viens de le décrire, il est le dernier mot de la question ; les dimensions assignées au revêtement des blocs, la méthode suivie dans leur établissement, sont le résultat d'une première inspiration ; rien ne prouve qu'elles ne seront point modifiées dans la suite ; mais le principe, qui est l'application d'une manière générale des mastics bitumeux aux fondations maritimes, je le crois vrai, et je pense qu'il renferme la solution du problème.

Le succès des expériences de la Pointe de Grâve a enhardi les ports voisins. Des essais plus considérables encore vont être en-

trepris à Rochefort, sur un point de la côte réputé dangereux entre tous pour les travaux de mer. Là, les ravages dus à l'action chimique de l'eau se compliquent encore de ceux que produisent certains insectes appelés *perce-pierres*, qui minent le calcaire comme les tarets minent le bois ; les seules maçonneries qui aient pu résister plus de deux ou trois années ont été parementées en granit avec joints en ciment de Médina ; cependant, là, comme ailleurs, l'asphalte semble devoir n'avoir rien à craindre des divers agents sous lesquels tous les mortiers succombent. Les sels et l'effet mécanique des vagues n'ont pas de raison d'agir autrement qu'à la Pointe de Grâve. C'est une remarque constante que les perce-pierres évitent les objets enduits de bitume ou de coaltar.

Lorsqu'il sera prouvé, par une expérience d'une durée suffisante, que l'asphalte résiste à peu près indéfiniment à l'action de l'eau salée, on se préoccupera peu de son prix, ce sera un élément négligeable ; mais l'expérience n'a encore dit que peu de chose, un an de résistance chez un bloc ne donne que des probabilités en sa faveur, et, si la théorie affirme, la pratique fait encore ses réserves. Il faut donc compter avec la question de prix. Or, en supposant un bloc de 9 mètres cubes, revêtu d'une épaisseur moyenne de 0^m10, on peut établir le devis suivant en supposant que le travail s'exécute en un port quelconque de l'Océan, depuis Dunkerque jusqu'à Bayonne.

Noyau. — Maçonnerie de chaux grasse et de moellon brut de 6^m500 à 21 fr.	136 fr. 50 c.
Enveloppe. — Béton d'asphalte, fourniture et main-d'œuvre, 2^m500 à 125 fr. 40 cent. . .	313 50
Prix de revient total, abstraction faite de tous frais généraux, bénéfices, etc.	450 fr. »

Soit 50 fr. le mètre cube.

C'est-à-dire le prix des blocs en ciment de Portland, qui, sur le

points dont j'ai parlé plus haut, résistent environ sept ou huit ans.

Pour résumer en quelques mots l'idée développée dans cette note, je rappellerai :

Que les mortiers, quels que soient leur résistance et leur degré d'hydraulicité, sont presque partout insuffisants pour jouer le rôle de ciment dans les constructions maritimes ;

Que cette insuffisance tient au principe de leurs propriétés agrégeantes, et, par conséquent à un défaut qu'on ne peut espérer corriger ;

Que l'asphalte, mastic extrêmement énergique, dont une haute température peut seul diminuer la tenacité, et qui n'est attaqué ou dissous que par des substances inconnues dans l'eau de mer, que l'asphalte, dis-je, présente tous les caractères du ciment qui doit remplacer les autres ;

Que les blocs, revêtus d'une couche d'asphalte, ont été coulés il y a un an à la Pointe de Grâve, et que depuis ce temps la mer n'a point laissé sur les surfaces asphaltées la trace la plus légère de son passage ;

Que si, en semblable matière, un essai d'une seule année est peu de chose, on n'en doit pas moins induire du remarquable état de conservation où sont restées les surfaces que, grâce à leur nature bitumineuse et à leur élasticité relative, l'influence des sels marins et l'action mécanique des vagues sont absolument nulles sur elles ;

Enfin que, si ce nouveau système n'a pas encore puisé dans une longue expérience l'autorité nécessaire pour réclamer sa place dans les travaux maritimes exclusivement à tout autre, au moins la clarté de sa théorie, l'état actuel de sa pratique, l'importance extrême de son but lui donnent des droits sérieux à l'attention de tous les hommes spéciaux.

Fabrication du fer et de l'acier, par M. BESSEMER (Communication de l'auteur à la Société des Ingénieurs civils de Londres, et discussion qui s'y rattache);

TRADUCTION PAR

M. CHOBRZYNSKI.

La première opération de la métallurgie du fer est le traitement des minerais de fer dans les hauts fourneaux, elle a pour but de séparer le fer de son minerai, en l'isolant de la plus grande partie des matières étrangères qu'il contient. La fonte ainsi obtenue se trouve encore combinée au carbone, au silicium et souvent au soufre, au phosphore, au manganèse et à d'autres corps dans de faibles proportions. Le premier soin du fabricant est de décarburer ce produit et de le séparer aussi parfaitement que possible des matières étrangères qui y sont combinées. Dans ce but, la fonte est coulée en saumons, que l'on traite ensuite dans les feux de fineries; ou bien elle est coulée directement du haut fourneau dans les feux de fineries; sa surface y est soumise à l'action d'un courant d'air dirigé sous un certain angle. Au bout d'environ trois heures de cette action, la fonte est rendue susceptible d'être traitée dans les fours à puddler. Elle est coulée en plaques dures, fragiles, n'ayant encore aucun caractère du métal malléable. Ces plaques, dites *fine metal*, sont brisées au moyen de mar-

teaux et soumises à une décarburation complète dans les fours à puddler.

Presque tous les métaux perdant leur cohésion et tombant en poussière lorsqu'on les chauffe à une température voisine de leur point de fusion , on profite de cette propriété commune à la fonte et au *fine metal,* dans le procédé ordinaire du puddlage. L'ouvrier s'efforce de maintenir la température convenable à la division des masses de fine metal en petits fragments, qu'il étend dans le four pour les réduire en granules. Dans cet état, le métal présente une grande surface à l'action réductrice des gaz et de l'air qui traversent constamment le four. La masse granuleuse se gonfle par l'action de la chaleur, en produisant de petits jets abondants d'une flamme bleue. L'ouvrier remue et brasse jusqu'à ce que la flamme soit plus blanche ; le métal devient alors plus tenace, ou, suivant l'expression technique, *il prend sa nature.*

Le métal réuni en boules est porté le plus promptement possible sous une presse ou sous un marteau cingleur, dont l'action mécanique fait écouler les scories et les impuretés, en laissant les loupes de fer composées de milliers de particules entre lesquelles il reste de l'oxide et du silicate. L'action de la presse ou du marteau, malgré toute son énergie, n'est pas suffisante pour épurer complétement le fer, qui retient une certaine quantité de matières étrangères. Le manque d'homogénéité de ces loupes se constate au passage au laminoir, par des criques et des fentes dans les barres brutes. Ces barres sont faciles à rompre, non pas suivant les sections les plus faibles, mais dans les parties où la réunion des parcelles de fer est la moins intime. L'inégalité de la résistance du fer, à laquelle on ne peut remédier par les laminages successifs, tient donc au procédé défectueux du puddlage. L'oxide et le silicate peuvent bien être répandus dans toute la masse par les opérations qui suivent le puddlage, mais ils nuisent

toujours à la résistance du fer et occasionnent la formation de criques et de stries dans les barres définitives.

L'opération du puddlage transforme le fine métal ou la fonte en acier, d'abord dur, ensuite moyen et doux, et produit enfin du fer doux complétement décarburé.

Le temps nécessaire à ces transformations varie avec les dimensions des granules, avec la surface qu'elles présentent à l'action de l'air qui traverse le four, et avec la température. Les efforts du puddleur doivent donc tendre à mettre toutes les parties de la masse qu'il travaille dans les mêmes conditions par rapport à l'action de l'air, en les tournant et brassant constamment. Son adresse et ses soins ne suffisent pas cependant pour obtenir complétement les conditions voulues. Il y aura toujours des parties sur lesquelles l'action de l'air sera insuffisante, et qui resteront mal épurées.

On admet généralement que le puddlage donne au fer la structure nerveuse, et que son travail, à l'état pâteux, empêche la formation cristalline. Cette opinion est tout à fait erronée. Les expériences faites, il y a deux ans, par M. Clay, dans les usines à fer et à acier de Mersey, prouvent que le puddlage n'influe en rien sur la qualité fibreuse des barres ; en effet, sur deux loupes de fer puddlé bien choisies, l'une a été cinglée, puis, après refroidissement, elle a été entaillée sur un tour et rompue complétement ; la cassure présentait une surface remplie de grands cristaux brillants, sans aucune trace de nerfs. La seconde loupe, après sa sortie du four et n'ayant pas été cinglée, a présenté après la rupture une section spongieuse dont les parties pleines étaient composées de cristaux de grandes dimensions. Dans quelques points, les petites surfaces contigues et correspondantes, après la rupture, étaient formées de cristaux d'une seule pièce. La rupture présentait sensiblement la couleur sombre et grise qui caractérise un métal cassant, comme le fine métal ou l'acier de la plus

basse qualité, mais ne décélait en rien la malléabilité du fer.

La haute réputation dont jouissent les usines de la compagnie de Mersey garantit complétement la bonne fabrication des échantillons essayés ; les défauts visibles observés sont donc inhérents au puddlage.

Les loupes mal affinées et non homogènes, à cause des scories qu'elles contiennent, se soudent mal et s'allongent difficilement pendant le laminage ; il se forme alors de larges criques et des fentes faute de malléabilité dans cet état, le métal laminé n'est pas susceptible d'un emploi immédiat, et a besoin d'être coupé en morceaux dont on fait des paquets, qui sont ensuite réchauffés et laminés, pour être convertis en produits marchands.

Les imperfections inévitables résultant des conditions actuelles de la fabrication du fer malléable donnent nécessairement des défauts de même nature aux aciers qui en proviennent.

La structure grenue du fer et son exposition pendant la cémentation à l'action de la chaleur et de l'oxigène amènent l'oxidation de tous les grains de la même masse. La pénétration des scories et d'autres matières des fourneaux, jointe aux difficultés d'amener toutes les particules du métal au même degré de carburation, mettront le fabricant dans les mêmes conditions défavorables que pour la fabrication du fer ; avec cet inconvénient de plus, ici, qu'il y aura des parties trop carburées, tandis que d'autres resteront du fer doux, et l'ensemble des produits sera d'une qualité inférieure.

Il est évident que, dans son état malléable, le fer présente un contraste défavorable avec d'autres métaux ductiles. Ceux-ci exempts de scories ne présentent pas de parties dures et douces. Ils sont parfaitement homogènes, sans matières étrangères. On pourrait se demander pourquoi l'or, l'argent, le cuivre, le zinc, l'étain et le plomb sont exempts des défauts inhérents au fer? La réponse se trouve dans ce simple fait que tous ces métaux son

purifiés et raffinés à l'état de fusion, et qu'ensuite ils sont coulés en lingots. Dans ce procédé, toutes les impuretés surnagent à la surface et peuvent en être séparées. Quand la masse métallique est rendue pure, ce qui ne peut jamais avoir lieu avec du fer, on la fait couler en plaques d'une texture parfaitement uniforme.

Un lingot de quelque métal que ce soit, cristallise toujours d'une manière qui lui est propre, pendant le refroidissement, et tous les lingots coulés sont toujours à structure cristallisée. Sous ce rapport, le zinc présente l'exemple le plus frappant. Les cristaux d'un lingot coulé ont de grandes surfaces brillantes et le clivage en est si bien défini qu'en pliant ce lingot sous un angle aigu, on aperçoit les fentes et les surfaces brisées d'une apparence lamelleuse. Ce lingot, laminé ensuite à une température convenable, change complétement de structure et acquiert une grande ductilité.

Si donc l'affinage des métaux ductiles s'opère pendant qu'ils sont à l'état liquide, et si le moulage de ces métaux les rend susceptibles de plus d'homogénéité et de malléabilité qu'il ne fait pour le fer, il conviendrait d'examiner si le fer seul ferait exception à la règle générale.

Peut-on espérer qu'on arrivera, par le soudage de toutes les particules sales de ce métal, cinglées ensuite en masses aussi petites qu'il faudra pour en faire des paquets, à un autre résultat qu'à multiplier les défauts résultant du premier traitement?

Il est facile de répondre par cette considération, que jusqu'ici il n'a pas été possible de produire la température nécessaire pour maintenir le fer en fusion. La plus grande chaleur qu'on puisse obtenir dans les fours démontre cependant que la fusibilité du fer est possible; mais l'emploi du combustible empêche de profiter de cette possibilité de fusion, qui, d'ailleurs, ne s'obtient jamais, dans l'industrie, avec les fourneaux en usage.

Il n'est pas surprenant que les considérations précédentes aient

amené l'auteur à proposer le premier de convertir la fonte en fer malléable pendant que celle-ci est encore liquide, et de conserver sa fluidité pendant un temps assez prolongé, sans addition de combustible, pour couler le métal dans des moules.

Cette idée, dans laquelle les hommes pratiques n'avaient aucune confiance, avait été taxée de chimère ou de pur rêve d'enthousiaste. Mais les lois sur lesquelles est basée la théorie de l'invention étaient bien connues, et le procédé proposé, apprécié d'abord par quelques hommes de science, est maintenant jugé par tous.

La théorie développée dans la note primitive lue à la Société Britannique de Chattenham, en août 1856, et les expériences faites depuis à Londres, ont suffisamment démontré les faits suivants comme les plus saillants :

1° Que la fonte peut être complétement décarburée pendant qu'elle est encore en fusion ;

2° Que l'air injecté à travers le métal fondu produit, sans emploi d'aucun combustible, une température supérieure à celle qu'on peut obtenir dans les opérations métallurgiques ;

3° Que le fer ainsi décarburé sans emploi de combustible, conserve assez longtemps sa fluidité pour être coulé en lingots susceptibles d'être étirés au marteau ou au laminoir.

Rien, depuis, n'a altéré ou modifié ces faits. Le même appareil qui a été monté à Londres, il y a trois ans, peut produire avec des fontes de qualité convenable, et en suivant les procédés admis par la pratique, du fer maléable ou de l'acier semblable aux échantillons présentés. Il est bien reconnu que les hommes pratiques qui tiennent à leurs habitudes, ne peuvent y renoncer qu'avec répugnance et sont généralement mal disposés envers les procédés nouveaux. Si l'inventeur ne peut pas démontrer dans la première semaine la perfectibilité de travaux qui exigent quelquefois des années entières, cela suffit pour condamner tout le

système nouveau, dont on exige des résultats définitifs et des détails aussi pratiques que ceux des anciens procédés.

La profonde conviction de la vérité sur laquelle est basé le nouveau procédé a décidé l'auteur à le communiquer à l'Association Britannique. Il a persisté depuis, malgré des controverses hautement exprimées, à poursuivre le cours des essais jusqu'à ce moment, sans répondre, pendant des années entières, au scepticisme de ceux qui prétendaient qu'il ne réussirait pas.

Le procédé, ayant été industriellement mis en pratique, a donné des produits en fer et en acier d'une qualité supérieure à ceux fabriqués par les moyens longs et dispendieux actuellement en usage. Le manque de succès de quelques premiers essais a été expliqué de différentes manières par les hommes pratiques.

La majorité soutenait que le *métal se trouvait brûlé* ou altéré par la température excessive nécessaire dans l'application du procédé. Les autres prétendaient que le fer *était trop sec* et qu'il ne pouvait devenir doux et fibreux que par l'addition de battitures. D'autres, enfin, attribuaient tous les défauts à la structure *cristalline du métal fondu*, lequel, disaient-ils, ne pouvait jamais devenir doux, ayant passé par l'état liquide. Une de ces causes de non réussite, si elle était fondée, suffirait pour annuler complétement le mérite du procédé. La gravité des objections, opiniâtrement soutenues par les maîtres de forge, a stimulé l'énergie de l'inventeur, qui prévoyait que tout l'espoir de succès était dans les résultats obtenus et que tous ces hommes pratiques étaient dans l'erreur. La mûre réflexion l'a cependant convaincu que les objections avancées n'étaient pas fondées, et que ces raisons ne pouvaient pas expliquer l'insuccès, s'il devait être éprouvé réellement.

Les hommes pratiques ont appris, par une longue expérience, que le fer doux et nerveux devient, par l'action prolongée d'une

haute température, de plus en plus cristallin, et, comme on dit, brûlé. En appliquant ce fait isolé au nouveau procédé, ils arrivent nécessairement à la conclusion que la haute température à laquelle est soumis le fer, dans le traitement de Bessemer, produit le même effet, sans avoir tenu compte de ce fait, que, dans ce procédé, le fer fondu n'est soumis à aucune loi de cristallisation et qu'en le faisant couler dans des moules froids en fonte, il se solidifie dans une ou deux minutes, sans avoir eu le temps de prendre la forme de grands cristaux bien déterminés. Ces grands cristaux ne peuvent être formés que par une lente agglomération des atômes, comme cela arrive dans les gros échantillons forgés, pour lesquels le temps pendant lequel ils sont soumis à la chaleur varie de 100 à 200 heures et contribue au développement des plans de clivage de la masse intérieure, au détriment de la solidité du produit final.

La seconde objection, relative à l'impossibilité de produire du fer doux résistant et nerveux sans additions de battitures, est encore une erreur analogue. On comprend que le fer puddlé puisse devenir quelquefois trop sec, puisqu'il est composé de granules couvertes de scories qui les séparent pendant un chauffage prolongé au rouge. On comprend également que les pièces de fer oxidées ne puissent pas se souder, mais qu'en projetant sur les surfaces fortement chauffées une petite quantité de sable, on détermine la formation immédiate d'un silicate fluide de fer, qui sera chassé par une pression convenable, et que les surfaces ainsi décapées pourront être parfaitement soudées.

Mais il est évident que ces faits ne peuvent nullement être appliqués au métal formé dans une masse fondue, dont les surfaces ne peuvent pas être oxidées, et que toutes les particules seront soudées d'une manière complète et parfaite.

La troisième objection, que le fer une fois liquide ne pourra jamais devenir doux et flexible, est contredite par les échantillons

présentés, qui prouvent l'énorme résistance dont le fer formé pendant la fusion est seul capable sans se rompre. Il importe de remarquer que la rupture du métal laminé ne doit pas nécessairement se présenter avec des fibres; car si la cohésion existe parfaite et égale dans toutes les parties de la masse, la rupture devra suivre la ligne de la force, et la barre devra casser dans un plan droit et suivant la plus petite section. La rupture dentelée et allongée que présente le fer puddlé est une preuve de plus de sa faiblesse et de son manque d'uniformité de texture, produite principalement par l'oxide de fer répandu dans la masse, ce qui lui donne une texture lamelleuse et allongée sans cohésion.

Les recherches chimiques présentent des difficultés réelles. Il a été contaté que si le métal était complétement décarburé et purifié de silicium, il contenait encore une certaine quantité de phosphore, dont l'expulsion était difficile. Des analyses, faites avec soin, sur différents échantillons, ont démontré que le fer cassant à chaud renfermait du soufre dans la proportion de 0,1 p. %, et que le fer cassant à froid contenait une pareille quantité de phosphore. Il était donc nécessaire d'éliminer ces deux substances nuisibles. La vapeur d'eau et l'hydrogène pur ont été essayés avec plus ou moins de succès pour enlever le soufre, et, par l'addition dans le métal fondu, pendant l'opération, de divers fondants, composés principalement de silicates de fer et de manganèse, on réduisait la quantité de phosphore. Ces expériences longues et dispendieuses ont duré plusieurs mois; quelques progrès ont été obtenus et beaucoup de faits importants ont été éclaircis. De nouveaux brevets et de nouveaux appareils, appliqués plus tard, ont prouvé la possibilité d'obtenir de la fonte à peu près pure, et ne contenant ni soufre ni phosphore, et ont justifié les idées émises relativement à ces substances nuisibles. Un échantillon de fer pur obtenu, on pouvait en fabriquer facilement des

aciers d'une bonne qualité. Après avoir essayé le fer des Indes et de la nouvelle Ecosse, il ne pouvait rester aucun doute sur la valeur et le succès de la nouvelle méthode.

Les résultats ainsi obtenus ont motivé un changement complet dans la direction des efforts de MM. Bessemer et Longsdon. Il avait été décidé qu'on importerait une certaine quantité de la meilleure fonte de Suède, dont on ferait du fer et de l'acier supérieur destinés aux objets pour lesquels les qualités médiocres ne peuvent convenir. On s'est décidé ensuite à interrompre pour un certain temps les essais ultérieurs, et à construire dans le Scheffield un établissement industriel destiné au développement complet du nouveau procédé; ce qui contribuerait le plus à détruire le reste des préventions erronées sur le mérite de l'invention.

Dans la fabrication de l'acier à outil de la meilleure qualité, on se sert pour plusieurs raisons de la fonte de Suède; et quand il s'agit de la transformer en acier par le procédé Bessemer, on fait couler l'acier fondu dans l'eau, pour être refondu de nouveau dans les creusets, comme cela se pratique maintenant avec l'acier destiné à certains objets qui exigent de très-petits lingots, et qui se trouvent ainsi tout faits. Il est à désirer que le nouveau procédé contribue au travail des produits naturels du pays, et quoique la production de l'acier de qualité supérieure ne forme qu'une faible branche de l'industrie du fer, il est fâcheux qu'elle se fasse en dehors des grandes ressources métallurgiques de ce pays, qui doit en partie sa prospérité à ses manufactures de fer.

En examinant les richesses minérales si abondantes de nos îles, on trouve que des minerais d'une pureté convenable s'y rencontrent en couches inépuisables; que l'hématite seule, dont on extrait 970000 tonnes, est l'objet de demandes doubles ou triples. On trouve également des couches étendues de fer spathique, de carbonate blanc et de minerais magnétiques de qualité sans

rivale dans le monde entier. Quoique ces minerais de qualités supérieures ne se trouvent souvent ni dans les centres d'extractions houillères, ni à portée des forges existantes, le réseau des chemins de fer qui traverse tout le pays peut les transporter facilement en procurant de nouvelles sources de revenus qui contribueront à l'amortissement des capitaux engagés En considérant la richesse de ces minerais et la facilité d'extraction de couches de 20 ou 30 pieds (ou 6^m,10 à 9^m,15) d'épaisseur, il est évident que les dépenses du bon minerai, en y comprenant les frais de transport, seront à peine supérieures à celles du mauvais minerai employé actuellement. Comme 1,6 tonne d'hématite produira une tonne de fonte, en consommant 60 0/0 moins de castine et 20 0/0 moins de combustible, pour sa réduction, que le minerai ordinaire ; comme d'un autre côté, au lieu de 160 à 180 tonnes produites par semaine, par un haut-fourneau, on pourra obtenir avec l'hématite 220 à 240 tonnes de fonte ; il est probable que le prix de revient de la bonne fonte sera inférieur à celui de la fonte fabriquée maintenant. Le canon et les plus gros échantillons exposés ont été fabriqués par le procédé Bessemer, dans les usines de la Société de Workington, qui produisent d'excellentes fontes à fer et à acier. On produit également de bonnes fontes à Cleator-Moor, à Weardale et à Forest- Dean. Il y a encore sans doute d'autres forges qui pourraient produire de bonnes qualités par une simple amélioration dans le choix des matières premières. A l'appui de cette assertion, il est à remarquer que les usines de Workington, qui fabriquaient précédemment des produits médiocres, ont réussi, en modifiant les charges des fourneaux, à fabriquer du fer supérieur à plusieurs échantillons de fers étrangers fabriqués au bois. L'installation industrielle du procédé Bessemer a fait créer un matériel considérable, pour la production du fer et de l'acier, dans cette contrée communiquant facilement par les chemins de fer avec les districts métallurgiques. Il peut y avoir un

certain intérêt à démontrer de quelle manière le procédé a été rendu pratique.

L'appareil le plus commode pour la réduction, et au moyen duquel les échantillons présentés ont été fabriqués, est représenté (PL. 15, fig. 1). Le vase est fixé sur un axe placé le plus près de son centre de gravité. Il est construit avec des plaques de tôle et doublé intérieurement de briques réfractaires, ou d'une pierre pulvérulante nommée *ganister* dans le Scheffield ; cette pierre est très-abondante et plus résistante au feu que toutes les matières qui ont été essayées jusqu'ici. Le vase chauffé est mis dans la position représentée (fig. 1), de manière à pouvoir recevoir le métal fondu sans que sa surface soit exposée à l'action de l'air des tuyères. La réaction ne peut avoir lieu qu'au moment où le vase est placé comme dans la fig. 2. Un instant après, le travail est mis en activité, en faisant passer les petits jets d'air comprimé à travers la masse métallique. L'air, en se répandant dans le métal fondu, se divise lui-même en une infinité de bulles qui s'échappent avec violence en entraînant un grand nombre de parcelles de métal qui retombent dans la masse bouillonnante. Tout l'appareil tremble par la violence de l'agitation, et une flamme rugissante s'échappe par l'ouverture du vase. A mesure que l'opération avance, la flamme violette devient orange, puis, à la fin, blanche et très-volumineuse. Les étincelles, très-larges au commencement, comme celles de la fonte ordinaire en fusion, deviennent plus petites et pétillantes, et au moment où la formation du fer approche elles paraissent blanches et claires. La formation d'une couche de scories est avantageuse en préservant la masse du refroidissement pendant l'opération. La chaleur s'élève, pendant l'opération, à une température inconnue jusqu'ici dans la fabrication du fer. Elle est suffisante, non-seulement pour fondre le fer, mais encore pour le verser dans la poche, qu'on vide ensuite dans la lingotière. La couche mince qui reste adhérente

à la poche montre le grand état de fluidité du métal, surtout si l'on tient compte du temps nécessaire pour son coulage dans la lingotière.

Dans ce procédé, l'oxigène paraît d'abord oxider le silicium, en formant l'acide silicique; le carbone est ensuite éliminé. L'acide silicique se combine avec l'oxide de fer obtenu par la combustion d'une petite quantité du métal, en formant des scories liquides qui restent dans l'appareil et contribuent à la purification du produit. L'accroissement de chaleur développée pendant l'opération paraît être disproportionné à la quantité de carbone et de métal brûlés, et donne ainsi une preuve des excellentes conditions dans lesquelles s'opère la combustion. En effet, il n'y a pas, ici, de surfaces qui puissent ou refroidir la chaleur produite, ou l'empêcher de pénétrer dans le métal. La chaleur émanée de milliers de points se distribue dans le liquide, et la masse totale en ébullition monte au-dessus de son niveau primitif en formant une espèce d'écume spongieuse qui est pénétrée par la chaleur dans toutes ses cavités. C'est ainsi que l'action seule d'un courant d'air peut produire plus de chaleur, dans les masses du métal, en dix ou douze minutes, qu'on ne pourrait le faire pendant des journées entières dans les meilleurs fourneaux.

Le changement de couleur et de volume de la flamme, ainsi que la nature des étincelles projetées en dehors du vase réducteur, permettent de juger de l'état du métal, bien mieux que par les flammes du combustible dans les fours à puddler. Le son que produit le métal renfermé dans un vase suspendu donne également une bonne indication à l'ouvrier. Peu de procédés industriels permettent ainsi de juger, par les signes extérieurs, de l'état d'avancement des opérations. Ces moyens sont cependant, ici, inutiles, par suite des indications plus précises fournies par un simple compteur donnant exactement le volume d'air nécessaire à la production de l'acier ou du fer plus ou moins dur, suivant

les besoins de la fabrication ; la nature des produits dépendant, dans tous les cas, toutes circonstances égales d'ailleurs, de la quantité d'air qui les traverse. Quand le volume d'air nécessaire a traversé le métal, on tourne l'appareil de réduction comme l'indique la fig. 3, et on procède au coulage. Le métal s'écoule d'abord dans une poche que l'on amène au-dessus des lingotières au moyen d'une grue hydraulique ; cette poche est munie au fond d'un bouchon en terre réfactaire que l'on manœuvre à l'aide de leviers. Aussitôt que la première lingotière est pleine, on bouche le trou du fond, on transporte la poche au-dessus de la seconde lingotière et ainsi de suite. L'appareil de réduction vidé, on doit procéder le plus promptement possible à une nouvelle opération, afin d'utiliser la grande chaleur du vase. La pression hydraulique convient le mieux aux grues destinées à manœuvrer les appareils. Par l'application de la pression hydraulique, le contre-maître pourra, de ses propres mains, effectuer les manœuvres nécessaires ; il pourra également régler le robinet d'injection d'air et le fermer aussitôt que le compteur aura indiqué la quantité d'air injecté nécessaire à la formation du métal voulu. La réduction de 5 à 10 tonnes de fonte qui s'effectue en quelques minutes n'exige que le contrôle d'un seul agent responsable. Il est entendu que la forme et les dimensions des lingotières seront établies suivant les besoins de la fabrication des barres, des rails ou des plaques de tôle.

Nous avons démontré au commencement de cette note que le procédé du puddlage introduit inévitablement dans le fer plus ou moins de laitiers et d'autres impuretés, et que le paquet de fer puddlé, inégalement décarburé, donne toujours, après soudage et étirage, des produits qui laissent beaucoup à désirer. Il a été démontré, en outre, que de pareilles difficultés ne se rencontrent point dans l'affinage des métaux à l'état liquide.

Le procédé Bessemer permet précisément de réduire la fonte

en fer pendant son état liquide, comme les autres métaux, en le purifiant et en empêchant la dispersion dans la masse métallique des laitiers qui surnagent à la surface du fer fondu. De cette manière, le fer coulé en lingot de forme et de dimensions voulues, présentera une dureté uniforme et une homogénéité parfaite, sans avoir besoin d'être corroyé comme dans le procédé ordinaire. Tout cela peut être accompli, comme on le voit par les échantillons exposés. La barre de trois pouces carrés pliée sur elle-même à froid, les barres tordues, le cylindre écrasé sans être fendillé et dont les coups de marteaux sont visibles comme ceux portés sur du cuivre, en donnent des preuves frappantes. Le canon en fer et les cylindres en fer ou en acier ne présentent point de criques ni de fentes.

Les expériences de M. Fairbairn prouvent que les résistances de plaques de tôle fabriquées avec de la bonne fonte anglaise au coke sont :

Pour les plaques de Staffordshire 45,300 livres, (20,500 k.) par pouce carré, ou 32 k. par m/m carré.

Pour celles de Derbyshire 45,000 livres, (20,400 k.) par pouce carré, ou 32 k. par m/m carré.

Pour celles de Yorskschire 57,120 livres, (25,900 k.) par pouce carré, ou 40 k. par m/m carré.

Suivant le rapport du colonel Eardley Wilmot, les tôles fabriquées par le procédé Bessemer ont résisté dans les épreuves de Woolwich à 68,314, 68,591, et enfin 73,100 livres, soit 48 et 51 k. par millimètre carré de section. Ce résultat est supérieur à ceux que donnent les tôles de Low-Moor et de Bowling, dont les qualités sont les plus estimées. Les échantillons ployés des tôles de Bessemer montrent également une grande ductilité du métal, et les trous percés au poinçon dénotent une grande douceur et une homogénéité parfaite.

Il reste encore à examiner un fait important sous le rapport

commercial. Les dépenses de la fabrication des tôles augmentent beaucoup avec leurs dimensions et leur poids. Low-Moor demande 22 livres (soit 550 fr.) par tonne pour des plaques d'un poids de 2 1/2 quintaux (1,270 kilog.), mais ce prix est de 37 livres soit 925 fr., quand le poids des plaques excède 5 quintaux (2,540 kil.): tandis que les lingots fondus par le procédé Bessemer donneront plus économiquement des plaques de tôles de 10 à 20 quintaux (5,000 à 10,000 kilog.) que des plaques ordinaires plus faibles. Il n'est pas douteux que les grandes plaques seront fabriquées de préférence pour être découpées ensuite suivant les besoins. Le nouveau procédé présentera donc une grande économie. Si l'on tient compte, d'ailleurs, de la réduction dans le rapport de 100 à 63 de la résistance de chaque joint rivé, on concevra facilement le grand intérêt que présente l'emploi des grandes plaques, dans la construction des poutres ou des navires.

Le cuivre comme la plupart des métaux perd pour un instant sa cohésion, au moment de son passage de l'état liquide à l'état solide. Le fer fondu passe seul, avant de durcir, par un état pâteux intermédiaire, dont la propriété particulière de soudage peut le rendre propre à une fabrication de plaques sans fin, comme cela est pratiqué dans la fabrication du papier.

L'appareil consisterait en deux cylindres d'un grand diamètre, placés sur le même plan horizontal et munis de vis de réglement. Pour les maintenir suffisamment refroidis, on injecterait de l'eau dans leur intérieur, et on les arroserait extérieurement. Les cylindres, munis aux deux extrémités de petits rebords, limiteraient l'espace vide dans lequel on coulerait le métal fondu, par une rangée d'ouvertures, au fond de la poche, de manière à présenter une lingotière sans fin, avec cette différence qu'ici le métal se trouvant comprimé aurait moins de poches produites par les gaz que dans le moulage ordinaire de la fabrication du fer. Le métal, se solidifiant avant de pénétrer entre les cylindres, y est soumis

ensuite à une grande pression et il s'étend en vertu de sa propriété de soudage. L'appareil pourrait être disposé de manière à étirer des plaques dont la longueur ne serait limitée que par la contenance de la poche. Une paire de cylindres, de trois pieds de diamètre ($0^{m}914$) et de trois pieds de table, laminerait à la vitesse de cinq tours et demi à la minute une feuille de 100 pieds de long ($30^{m}5$), de 3 pieds de large ($0^{m}914$) et de 3/8 de pouce d'épaisseur ($0^{m}00952$) pesant deux tonnes. Si on introduit cet appareil dans l'industrie, il sera facile de fabriquer des feuilles de tôles de cette dimension, en fer doux, vingt minutes après la sortie de la fonte du haut-fourneau. Ce procédé n'a pas été mis en pratique d'une manière industrielle. Il a été essayé et on en a obtenu d'excellentes plaques de tôles aussi faciles à plier que le fer blanc; avec quelques tâtonnements, on arriverait à l'installer définitivement.

Une feuille mince, fabriquée de cette façon, a été exposée, ainsi que quelques morceaux de la croûte intérieure de la poche produite pendant le moulage. Ces pièces annoncent la malléabilité du métal; coupées à la cisaille, elles peuvent être pliées sur elles-mêmes sans déchirure ni rupture. En les examinant, il est évident qu'elles n'exigent pas beaucoup de laminage; c'est un motif d'espérer que l'étirage du métal fondu pourra produire sur une grande échelle des plaques parfaitement douces et malléables. La croûte des poches et les rognures peuvent être parfaitement utilisées. Quelques-uns de ces morceaux, soudés et étirés au marteau, à Woolwich, ont donné une barre dont la résistance a été de 73,897 livres par pouce carré (52k. par m/m).

Dans l'état actuel de l'industrie, les plaques de tôle doivent attirer le plus notre attention. En considérant qu'il n'y a d'autre différence dans la production du fer et de l'acier par le procédé Bessemer, que la quantité d'air injecté dans la fonte, il sera préférable de substituer l'acier au fer, car le déchet de la fonte

sera moindre de 8 0/0, la résistance sera presque double et l'élasticité bien plus grande.

L'application de l'acier fondu aux constructions des chaudières a été largement installée par MM. Howell et Shortridge, de Scheffield. L'extrême malléabilité de cet acier fondu a permis même d'en fabriquer des tubes. Un bout de ces tubes exposés a été étiré comme une feuille de papier. Il est impossible d'examiner les échantillons de ces aciers doux et homogènes, sans se rappeler l'opinion généralement admise sur la fragilité de l'acier fondu. Cette erreur date de l'origine de l'introduction de l'acier fondu, et de la double cémentation qu'on faisait subir aux barres de fer, afin de les rendre plus fusibles. L'idée de la fragilité de cet acier se maintient encore, malgré tous les progrès successifs de la fabrication.

Une plaque de chaudière, en acier de Bessemer, prouve par ses bords non coupés, qu'elle est bien plus facile à laminer que l'acier ordinaire ; elle est extrêmement douce et a tous les caractères des meilleurs aciers, dont elle ne diffère que par ses moindres frais de fabrication. D'autres plaques à chaudières, pliées au marteau, attestent leur puissance à la résistance à froid ; enfin, d'autres échantillons font voir que les trous de rivets percés très-près les uns des autres n'ont produit aucune déchirure.

Au moment où la fabrication de la grosse artillerie préoccupe tant l'esprit public, il est intéressant de démontrer brièvement la grande facilité que présente le procédé Bessemer, pour produire de grandes masses de fer malléable ou d'acier, propre à donner de gros canons, sans aucune soudure ni assemblage de pièces ajustées. Plusieurs essais ont été tentés depuis quelque temps pour la fabrication des canons en fer, que les forges de Mersey paraissent avoir réussis. La fabrication de ces canons étant très-dispendieuse et exigeant beaucoup de temps, il serait à désirer qu'on pût l'installer dans de meilleures conditions et en employant des matières plus résistantes que le fer, qui exige

dans son emploi plusieurs soudures et plusieurs chaudes, si préjudiciables à sa structure. Il est probable que le procédé Bessemer remplira les conditions recherchées, en permettant d'avoir 10 à 20 tonnes de métal fondu d'une seule pièce et faciles à produire deux à trois fois dans la même journée. Ce métal pourra être préparé en fer doux ou en acier, et fournira ainsi des canons d'une dureté et d'une ténacité suffisantes pour résister aux perturbations auxquelles ils doivent être soumis. Pour prouver leur grande malléabilité et leur résistance aux efforts les plus énergiques, on a soumis plusieurs cylindres aux coups d'un pilon, sans avoir pu produire la moindre déchirure du métal. Ces cylindres ont été étirés de lingots ronds, fondus à un diamètre plus grand de deux pouces que celui des canons à fabriquer. Les canons de campagne de 9 exigeraient très-peu d'étirage, et n'en demanderaient que pour resserrer les pores du métal. La résistance à la tension des échantillons exposés était, suivant les expériences de l'arsenal royal, de 64,561 livres par pouce carré (45 kil. 37 par m/m q.), pendant que la résistance du métal de canons Mersey était en moyenne de 50,621 livres (35 kil. 58 par m/m q.) dans le sens de l'axe, et de 43,359 livres (30 kil. 46 par m/m q.) transversalement. Il y a donc 17,550 livres par pouce (12 kil. 33 par m/m. q.), en faveur du fer de Bessemer.

Quand il s'agira de fabriquer des canons fondus, au lieu de couler la fonte du four dans les moules, on la soumettra d'abord pendant dix à vingt minutes à l'action de l'air, dans l'appareil réducteur, puis on coulera le métal plus ou moins affiné dans les moules.

Une petite pièce d'artillerie exposée est la première qui a pu être fabriquée sans la moindre soudure et sans aucun assemblage. L'importance de ce fait sera appréciée quand on saura que les masses coniques fabriquées à Woolwich, d'un poids de 5 à 10 tonnes ne reviennent qu'à 6 l. 12 s. la tonne (164 f. 40 c.), y compris l'achat de la fonte au coke, le déchet, la fusion et tous les frais accessoires.

Les lingots coniques devront être coulés dans des moules en fer, qui pourront être enlevés de la fonderie une heure après leur coulage ; tandis que les moules en terre, employés pour les canons en fonte, ne peuvent être enlevés qu'après trois jours de refroidissement. L'avantage de la rapidité du travail compense les frais de martelage des lingots ; donc la production des canons en acier fondu ou en fer malléable ne sera pas plus dispendieuse que celle de canons en fonte. Mais en définitive, les canons en fer, par suite de leur résistance supérieure de 20 à 25 0/0, coûteront moins que ceux en fonte. Ces faits, soumis à la connaissance du gouvernement, ont été appréciés par le colonel Eardley Wilmot, directeur de la fonderie de canons, qui a contribué beaucoup, dès l'origine, aux progrès de l'invention, et auquel l'auteur doit un grand nombre d'expériences sur la résistance de divers échantillons. Les résultats de ces expériences, faites à Woolwick, sont donnés par les tableaux suivants.

Fer fabriqué par le procédé Bessemer.

POIDS DE RUPTURE A LA TRACTION EN KILOG. PAR CENTI. CARRÉ			
FER FONDU NON MARTELÉ		MARTELÉ OU LAMINÉ	
Divers Essais	Moyennes	Divers Essais	Moyennes
268,45. . . .		535,50. . . .	
292,25. . . .		531,30. . . .	
304,24. . . .	289,85	458,60. . . .	510,54
282,76. . . .		450,20. . . .	
301.56. . . .		577,07. . . .	

Fer fabriqué par le procédé Bessemer.

LINGOT LAMINÉ EN FEUILLES DE TOLE SANS CORROYAGE

Divers Essais	Moyennes
446,92	480,34
513,77	
448,60	479,96
512,31	

Acier fabriqué par le procédé Bessemer.

POIDS DE RUPTURE A LA TRACTION EN KILOG. PAR CENTI. CARRÉ			
ACIER FONDU NON MARTELÉ		MARTELÉ OU LAMINÉ	
Divers Essais	Moyennes	Divers Essais	Moyennes
343,61. . . .	322,14	1145,38. . . .	1088,11
300,66. . . .		1030,84. . . .	
402,67. . . .	479,72	1116,74. . . .	1109,59
556,78. . . .		1102,43. . . .	
509,55. . . .		959,25. . . .	
546,83. . . .	484,92	1022,66. . . .	1042,42
433,40. . . .		1145,35. . . .	
449,90. . . .			

On a supposé que les grandes masses d'acier fondu ne pouvaient pas être forgées, et que les coups de marteaux n'agissant qu'à la surface n'avaient aucune action sur la partie centrale;

mais M. Krupp d'Essen, en Prusse, si connu dans toute l'Europe comme fabricant d'acier fondu, a prouvé qu'on pouvait produire et travailler des masses énormes de ce métal. Il a travaillé avec succès, dans ses usines, des lingots du poids de 10 tonnes; il est même parvenu à forger des lingots de 25 tonnes. Il n'est donc plus permis d'admettre que ce produit ne puisse pas servir fondu ou forgé; on en fera, au contraire, un grand usage pour la fabrication des ancres, hélices, manivelles et généralement de toutes les pièces de ponts, viaducs, etc.

Il sera intéressant, pour les personnes qui désirent la vulgarisation du nouveau procédé, de savoir qu'il a déjà été appliqué dans toute l'Europe. MM. Daniel Elfstrandt et C^ie^ ont produit plusieurs centaines de tonnes de cet excellent acier, à Edsken en Suède; et trois autres compagnies prennent des mesures pour construire, dans le voisinage d'Edsken, des établissements également destinés à la transformation des fontes en aciers, par notre méthode. La grande scie circulaire exposée à été fabriquée par M. Gasausan, en Suéde; son lingot avait été coulé directement, en quinze minutes, après la sortie de la fonte du fourneau. L'ancienne maison James Jakson et fils a construit, près de Bordeaux, en France, une usine pour y appliquer le procédé Bessemer; on y traite la fonte des Landes, et quatre nouveaux hauts-fourneaux doivent y être installés pour la fabrication d'excellentes fontes destinées à ces transformations. En Belgique, le procédé a été adopté à Liége.

On peut donc dire que le procédé Bessemer est acquis à la pratique. Dans un pays comme l'Angleterre, où la production du fer et de l'acier tient une place si importante dans l'industrie nationale, il est nécessaire d'examiner avec soin le nouveau procédé. La profonde conviction de la vérité, sur laquelle est basé le nouveau procédé, a engagé MM. Bessemer et Longsdon à renoncer à toute autre occupation et à poursuivre, à travers les sentiers

tortueux des recherches chimiques et pratiques, des essais nombreux et dispendieux, comme on n'en a encore fait pour aucun autre système nouveau.

Arrivés, enfin, aux résultats pratiques et commerciaux, il considèrent leur invention comme un moyen assuré de production économique et régulière d'une bonne matière.

L'auteur ne doute pas que l'application de son procédé ne le rende susceptible de grandes améliorations ; mais il pense que ces progrès seront obtenus par les expériences du travail journalier des hommes pratiques, engagés dans la fabrication du fer de l'acier par la nouvelle méthode.

Jusqu'à présent l'auteur, assisté seulement des talents et de l'énergie de ceux qui se sont voués avec lui à perfectionner les détails du procédé, est parvenu à obtenir des résultats industriels; mais il sera heureux de tous les progrès qui pourront être introduits dans le développement du système dont il est l'inventeur.

M. Locke, président, craint de ne pouvoir suffisamment exprimer à l'auteur le plaisir éprouvé par la communication de sa note. Il est très-utile d'entendre raconter les difficultés que rencontre un inventeur à mettre en pratique des idées d'une grande valeur. M. Bessemer a attendu deux ans pour réaliser entièrement ses idées. On se rappelle l'effet produit lorsque le nouveau procédé de la fabrication du fer fut annoncé pour la première fois. On convenait que, si les faits annoncés étaient exacts, une entière révolution avait été accomplie dans cette industrie. Plusieurs objections se sont cependant élevées, et quelques-unes parurent assez fondées pour que M. Bessemer ait travaillé à les surmonter. Aujourd'hui il soumet à la Société de superbes échantillons fabriqués, dit-on, à des prix tels, que, si les calculs sont exacts, il est évident qu'une grande révolution dans la fabrication du fer est accomplie. M. Bessemer a mérité les meilleurs remercîments de

la Société, qui lui seront, comme l'espère M. Locke, votés par acclamation.

M. Bramwell dit qu'il a écouté attentivement la lecture du mémoire, et qu'il n'y a trouvé aucun fait nouveau relativement à l'invention. Il pense que la note est rédigée habilement et que les échantillons exposés méritent l'attention. Il se rappelle l'impression produite par la lecture d'une note sur ce sujet, devant l'Association Britannique, et par les expériences qui ont été faites au chemin de fer de Great-Northern. Il sent donc que la moindre expression désapprobative pourrait être mal accueillie.

Autant qu'il a pu comprendre, il paraîtrait que l'acier ne peut être fait qu'avec certaines qualités de fontes, et que M. Bessemer a dû avoir recours aux fers les plus chers de Suède, pour arriver aux résultats annoncés. Il résulterait, en outre, du mémoire, que l'acier et le fer sont mélangés de manière qu'il sera difficile de les séparer. Il paraîtrait que les minerais anglais d'hématite sont les plus propres à cet usage ; mais il croit que cette qualité ne peut être obtenue qu'en petite quantité. On ne donne point de détails de la fabrication du fer ; on dit seulement que la fonte mise dans le vase réducteur est ensuite coulée dans les lingotières, puis refondue et versée dans l'eau pour être fondue de nouveau. Quant au fer du commerce, on dit que le métal coulé dans les lingotières est susceptible d'être battu ou laminé. Il a compris qu'il était possible d'augmenter la chaleur de la fonte, dans le vase décrit pour la réduction, par l'injection de l'air, et que l'on produisait ainsi des lingots d'une qualité qui permettait de les marteler ou laminer. Cela était supposable, suivant des expériences faites aux forges de Saint-Pancras; cependant il a essayé, par tous les moyens possibles, mais inutilement, d'étirer une partie d'un lingot que lui avait remis M. Bessemer. Sous le marteau ce lingot tombait en très-petits morceaux, comme du sable. Il désirerait savoir si les échantillons exposés sont des résultats acci-

dentels, ou s'ils peuvent toujours être fabriqués avec certitude. Il connait bien l'ardeur des inventeurs, mais, lorsqu'une note de ce genre est présentée, il est désirable qu'on y trouve des faits positifs au lieu d'idées spéculatives. Il est important de connaître jusqu'à quel point il est indispensable de transporter des minerais d'un pays à un autre pour ce genre de fabrication. Il aurait voulu entendre l'histoire précise des faits, tels que le déchet dans chacune des opérations, et la détérioration du vase réducteur. On a annoncé que, dans l'usine de Butterly, on fondait, dans une seule opération, plusieurs pouces de la garniture intérieure en briques réfractaires. La note aurait dû dire si cette difficulté avait été surmontée et combien de temps l'enduit pouvait durer. Suivant le récit des opérations, il paraîtrait qu'il y a deux moyens de produire l'acier ; l'un en décarburant la fonte jusqu'à un certain degré, l'autre en la transformant d'abord en fer pour le cémenter après.

Il sait que la quantité de carbone varie beaucoup, suivant la nature des fontes, et que, dans des poids égaux, peuvent se trouver des quantités différentes de carbone combiné et non combiné ; il paraîtrait donc que la quantité d'air injecté doit dépendre de ces diverses compositions de la matière à traiter, puisqu'un demi pour cent de carbone en plus ou en moins peut produire de l'acier ou du fer. Il pense que la Société serait désireuse d'obtenir des renseignements sur ces points, et il serait personnellement heureux d'avoir provoqué les explications qui manquent.

M. Bessemer explique les faits particuliers à chacun des échantillons présentés. Dans les premiers essais, les briques réfractaires employées au doublage du vase réducteur s'usaient très-promptement par la grande chaleur développée. Après avoir essayé diverses matières, il s'est assuré que le ganister était le corps le plus réfractaire et qu'il résistait le mieux à l'action du métal

fluide. Le prix de revient de l'enduit d'un vase réducteur ne dépasse pas 20 shillings (24 fr.), et la main-d'œuvre dure très-peu de temps. Chaque enduit peut supporter le traitement de 70 à 90 tonnes de métal. On a trouvé que le meilleur moyen de le façonner consistait dans l'emploi d'un moule en bois, autour duquel on tasse le grès, on l'égalise et on chauffe ensuite. Le métal peut être coulé deux heures après la façon de l'enduit.

Le déchet du fer peut être estimé de 13 à 15 0/0 dans la fabrication de l'acier et de 20 à 22 0/0 dans celle du fer. Le déchet ainsi estimé ne porte pas ici sur la matière déjà travaillée, mais bien sur la fonte, dont la valeur n'a encore été grevée ni des dépenses de combustible ni des frais de main-d'œuvre. La perte est donc moindre que dans le procédé ordinaire, dont le déchet de 20 0/0 porte sur les matières qui ont déjà subi divers frais de fabrication.

C'est une erreur de croire que l'acier fabriqué par le nouveau procédé, étant coulé en lingots, ait besoin d'être refondu, puisque les lingots primitifs sont propres à l'action du marteau ou du laminoir.

M. Brawn rappelle qu'il a été le premier promoteur du procédé après sa communication à l'Association Britannique de Chaltenham. Il a été son partisan, alors que tant d'autres n'y avaient aucune confiance, et il a dépensé 7000 livres (175,000 fr.) pour en tirer parti. Il paraîtrait que la qualité du minerai a une grande importance. Il a réussi à produire des échantillons semblables à ceux qui ont été exposés, avec des minerais spathiques provenant de la Société du *Ebbwale* dans le Brendon-Hills, Somersetshire, mélangé avec le minerai de Soulypool. Les difficultés qui ont rendu le procédé presque impraticable tenaient au manque de matières réfractaires. Il est étonné du bas prix de la matière employée dans le Scheffield, et se fonde sur ce que le fer et les matières premières seules, sans main-d'œuvre, coûtent déjà

plus; la fonte des Indes coûtant 6 l. 10 s. la tonne (162 fr.).

Il ne voudrait rien dire qui pût être considéré comme un découragement. Il était le plus chaud soutien du procédé; mais il croit que M. Bessemer tombe dans la même erreur de prix de revient qu'il avait commise à Chattenham. Le déchet dans les meilleuresconditions monte à 40 p. 0/0, et s'est élevé une fois à la totalité du produit, tant le métal s'était consumé ne laissant que des scories.

M. Gladstone n'a jamais vu dans le procédé décrit aucun progrès ni rien qui n'eût été déjà fait dans les usines du Staffordshire. L'affinage, employé pendant longtemps, était connu avant le puddlage, et la conversion de la fonte en fer était aussi parfaite que celle qu'annonce le nouveau procédé. Le puddlage a constitué un nouveau système de production des usines, qui satisfait parfaitement à l'économie et à la rapidité de la fabrication de produits semblables à ceux des feux d'affinerie. Le fer qu'on en obtient ne permet pas d'y reconnaître, même à la loupe, des matières étrangères. Le procédé Bessemer ramène le métal dans les conditions où il se trouvait avant l'application du puddlage. Sans doute la qualité du fer se trouve améliorée par suite de son affinité avec l'oxigène; mais il est facile de prouver que ce combustible est trop dispendieux, en mettant un morceau de fer à la température rouge en contact avec l'oxigène; le fer tout entier est bientôt consumé et ne laisse que des scories. Quoique les échantillons soient d'un aspect frappant, il pourrait prouver que leur production n'est pas un progrès dans la fabrication du fer. C'est une question de la plus haute importance, et qui ne peut être basée sur de simples assertions, mais sur des faits certains et bien établis.

Le colonel Eardley-Wilmot déclare qu'il a porté le plus grand intérêt à ces recherches et qu'il a essayé les produits fabriqués. Les recherches chimiques faites dans l'usine de Woolwich ont

démontré que, si le procédé Bessemer était très-propre à éliminer le silicium du fer, il n'avait aucune action sur le soufre et sur le phosphore. Profitant de ce renseignement, contrôlé de divers côtés, M. Bessemer a sagement agi en cherchant à traiter les fers qui lui promettaient les meilleurs résultats. Pour bien juger le procédé et ses résultats, il pense que le meilleur moyen, pour tous les membres d'une Société pratique, c'est d'aller le voir, comme il l'a fait lui-même.

Rien ne peut être plus simple et plus parfait. On pourra y suivre plusieurs essais qui ne laisseront aucun doute sur le mérite des échantillons produits. On a prétendu qu'il n'y avait rien de nouveau dans le procédé. Il y a cependant lieu de se demander si ce n'est pas un fait nouveau de voir une barre de 4 pouces de diamètre pliée à froid jusqu'au contact parfait sans la moindre trace de crique.

Quant au métal particulièrement destiné aux armements, comme les canons, les projectiles, les armatures de vaisseaux, il importe de mentionner une circonstance très-instructive. Au moment où le métal, préparé pour être coulé en canon, devait être versé dans le moule, un accident est arrivé au trou de coulage de la poche et le métal s'y est refroidi au lieu de s'écouler. Ce métal solidifié ne différait donc de ce qu'il aurait été, coulé en canon, que par cette particularité, que l'absence de masselotte n'avait pas permis à la masse liquide d'être soumise à une forte pression. Cependant un cylindre de 2 pouces de diamètre étiré, provenant de cette masse a donné une résistance de 42908 livres par pouce carré et une densité de 7626 ; un autre cylindre semblable, étiré sous le marteau, a donné pour résistance 64421 livr et une densité de 7841.

Ce métal soumis aux analyses chimiques a accusé :

Silicium	0,00
Graphite	0,00

Carbone combiné. . . .	Traces.
Soufre	0,02
Phosphore	Traces.
Manganèse.	Traces.

Cet échantillon s'approche du fer pur. On sait que le fer du commerce est un composé de fer et d'autres matières. Les soudages successifs font diminuer ou combiner le graphite. Le procédé Bessemer élimine une partie du phosphore, et, si le fer contient peu de phosphore ou de soufre, il donnera des qualités aussi bonnes que possible. Si un nouveau procédé d'alimentation de ces deux matières pouvait être trouvé, tous les minerais anglais seraient transformables en fer pur.

L'acier Bessemer a donné d'excellents outils à tourner les canons, qui ont toujours permis d'enlever de gros copeaux. Le colonel Eardley Wilmot n'a jamais rencontré de meilleur acier, à quelque prix que ce soit.

M. Rillay a fait de nombreux essais du procédé Bessemer dans les forges du pays de Galles, et est arrivé à des résultats semblables à ceux indiqués par M. Brawn. Les fontes ordinaires n'ont donné que de très-mauvais fers cassants. Le minerai d'hématite rouge, du Lancashire, mêlé avec celui du pays, produit la fonte plus économiquement qu'avec le minerai argileux seul ; on y a également introduit le minerai rouge de Whitehaven et Barrow, le minerai brun de Forest Dean, et un peu de minerai d'Espagne ne contenant point de phosphore. Les échantillons de Workington ont été produits avec des fontes ne contenant que 0,07 à 0,05 p. 0/0 de phosphore, mais ayant jusqu'à 2 1/2 à 2 3/4 p. 0/0 de silicium. Le procédé Bessemer débarrasse complétement le fer de ce dernier élément. Plusieurs échantillons examinés avec soin n'annonçaient point de silicium.

Les effets de l'affinage ont été suffisamment développés dans cette discussion, pour qu'il soit établi que les fers contenant

jusqu'à 3 1/4 p. 0/0 de silicium ne peuvent pas en être débarrassés par le travail de l'affinage.

La différence entre l'affinage et le procédé Bessemer consiste en ce que le soufre et le phosphore sont éliminés en grande partie par le premier, tandis qu'ils restent presqu'en totalité dans le second. Il paraîtrait donc qu'il faut beaucoup de temps pour déplacer le soufre et le phosphore, et que la haute température seule suffit pour éliminer le silicium et le carbone.

M. Rillay ayant parlé de la chaleur excessive, et supérieure à tout ce qui était connu jusqu'à présent, développée par le procédé Bessemer, voudrait attirer l'attention sur les enduits des appareils réducteurs. Le sable employé dans les fours à souder contient toujours un peu d'argile, mais sa résistance à la chaleur peut être améliorée de manière à doubler le nombre des chaudes par des lavages préalables. Les difficultés actuelles du doublage dépendent de l'état mécanique de la silice ; il importe de l'employer à l'état solide, comprimée ; c'est le plus propre de tous les matériaux pour ce genre de travail.

M. Bessemer déclare que le prix moyen de la fonte employée à la fabrication des échantillons exposés était de 3 l. 11 s. à 3 l. 15 s. (88,20 à 93 fr.) la tonne ; le déchet de 20 p. 0/0 sur la fonte représente 15 schillings (18 fr.) ; et la dépense de fusion dans les fours à réverbère (qui peut être évitée en prenant directement la fonte du haut-fourneau dans les appareils réducteurs) peut être estimée à 5 schillings (6 fr.) ; ce qui fait en tout 4 l. 11 s. à 4 l. 15 s. (113,20 à 118 fr.) la tonne. Il y a à ajouter les dépenses des enduits et tous les travaux accessoires, y compris l'injection de l'air. La quantité d'air nécessaire dans le procédé ordinaire à la production d'un quintal (50 k.) de fer suffira ici pour une tonne. En tenant compte du prix du charbon à Londres et des prix élevés de la main d'œuvre à Woolwich, il estime que le prix de revient total sera de 6 l. 10 s. (162 fr.) ; mais il est convaincu qu'on

peut descendre au prix de 6 l. (150 fr.) la tonne. Il pense que les lingots d'acier ou de fer malléable peuvent être fabriqués au prix de 4 livres (100 fr.), en employant des minerais hématites. L'année dernière, on en a extrait 970,000 tonnes, et on peut doubler et tripler cette quantité sans difficultés.

Tous les hommes pratiques savent combien l'expérience est utile pour les progrès des opérations manufacturières ; aussi, est-ce à l'expérience acquise dans le procédé par les ouvriers qui y ont travaillé que nous sommes redevables en partie de nos succès. On a parlé des difficultés provenant de la rapide destruction de l'intérieur du vase réducteur, et on a expliqué comment on y a remédié. Les faibles charges de 20 à 30 livres dans les premiers essais ont retardé le succès. Ces charges de 20 à 30 livres ne pouvaient pas se convertir en acier. Une charge d'un quintal fournissait de l'acier ; avec 5 quintaux, la qualité était meilleure, et, avec une tonne, le métal devenait complétement fluide, comme cela est prouvé par quelques rognures exposées, et la totalité de la masse se trouvait homogène. Le choix des fontes paraît être essentiel au succès. La fonte de Blaenavon, à 8 livres (200 fr.) la tonne, n'était pas aussi bonne que celle provenant des hématites, qui ne coûte que 3 l. 15 s. (95 fr.). S'il fallait employer exclusivement la fonte de Suède, le procédé n'aurait aucun avenir ; mais son succès est assuré, puisque les minerais les moins durs conviennent le mieux.

Jusqu'à présent, et tant que les vues de l'inventeur n'étaient pas réalisées et qu'il en cherchait les causes, il n'y a pas eu beaucoup d'expériences faites avec les minerais anglais. Le point important était de rendre son procédé commercialement pratique ; et comme la fonte de Suède, qui coûte 7 livres (175 fr.) la tonne, convenait le mieux à la fabrication de l'acier destiné à la coutellerie et aux pièces mécaniques, il s'en est servi de préférence. La matière produite a d'ailleurs une valeur de 60 livres (1,500 fr.), et donne par conséquent une rémunération bien suffisante.

Après quelques essais avec la fonte de Suède, il a construit une usine dans le Scheffield, où l'on fabrique de l'acier d'une qualité satisfaisante. La question de l'acier résolue, on a entrepris des essais relatifs au fer malléable, en se servant des hématites. Les qualités obtenues, et à meilleur marché que par le puddlage, sont telles qu'il n'y a lieu d'introduire aucun changement pour le moment dans la fabrication. Les carbonates blancs, les minerais magnétiques et ceux de Forest Dean, ont donné par ce procédé du bon fer et du bon acier.

ETUDE sur le procédé Bessemer

PAR

M. A. LA SALLE.

Les publications relatives au procédé Bessemer, qui ont été récemment communiquées à la Société des Ingénieurs civils, sont de nature à exciter au plus degré l'intérêt de ses membres ; car s'il est vrai que ce procédé réalise pleinement les espérances qu'il avait fait concevoir à son origine, s'il faut croire qu'on soit enfin arrivé à une solution pratique satisfaisante, il constitue sans contredit l'une des découvertes les plus importantes de la métallurgie moderne.

Produire à bas prix et dans des conditions supérieures de qualité le fer et l'acier, ces métaux qui jouent un si grand rôle dans l'industrie, est assurément l'un des plus beaux problèmes qu'il soit donné à notre siècle de résoudre. Bessemer y aura contribué dans une forte mesure, et la France lui devra une large part de reconnaissance ; car, si l'exploitation pratique du nouveau procédé exige l'emploi exclusif de fontes supérieures, nous n'avons sous ce rapport rien à envier à l'Angleterre.

La nature et la richesse de nos bons minerais, les frais modérés de leur extraction, la nécessité de les traiter au charbon de bois pour en conserver la bonne qualité, sont autant de conditions qui, jointes à la suppression du combustible d'affinage, tendent à

rétablir l'équilibre qui a toujours fait défaut au détriment de la France, dans toutes les questions relatives à la production économique du fer et de l'acier.

Si l'on peut accorder toute confiance aux faits annoncés par les divers mémoires qui ont été publiés sur le sujet qui nous occupe, les produits Bessemer seraient déjà, depuis quelque temps, cotés sur les marchés de métaux de la Grande-Bretagne et de la Suède; les prix auxquels ils sont offerts font supposer que, sous le rapport de l'économie de la fabrication, la nouvelle méthode d'affinage peut lutter avantageusement contre les procédés ordinaires; enfin l'importance des quantités fabriquées et écoulées témoignerait qu'ils ne sont plus seulement le résultat accidentel de quelques expériences plus ou moins heureuses, mais bien les prémices d'une fabrication régulière, et la preuve d'une marche normale de l'opération.

Il y a lieu de s'étonner que la France soit restée en arrière, qu'aucun de ses expérimentateurs ne soit parvenu jusqu'ici à pouvoir proclamer un succès. Cette circonstance ferait supposer qu'on n'est point fixé encore sur la meilleure voie à suivre, ou que les conditions à remplir n'ont pas été suffisamment mises en évidence, pour que des expériences puissent être tentées par tout le monde, avec la certitude de réussir. La simplicité élémentaire du principe théorique qui forme la base du procédé, mise en regard de l'importance des résultats que l'application faisait pressentir, devait cependant séduire les praticiens de tous les pays et appeler l'attention des savants. Malheureusement les premières tentatives ne furent pas heureuses, on dépensa beaucoup de temps et d'argent en expériences, d'abord infructueuses, qui rebutèrent dès l'origine les plus chauds partisans de la nouvelle invention; les objections soulevées par ces premiers insuccès ne tardèrent pas à se répandre, et il fallut, en Angleterre même, toute la constance dont l'inventeur a fait preuve, toute la puissance des facultés per-

sévérantes des capitaux anglais, pour triompher des nombreuses difficultés qui se présentèrent.

En Suède, les immenses avantages qu'on devait espérer de l'application du procédé aux excellentes fontes supérieures de ce pays pour la fabrication de l'acier exercèrent naturellement une forte attraction en sa faveur; l'Association des maîtres de forge du Jern-Kontoret ne recula devant aucun sacrifice pour atteindre un but si désirable, et les rapports qui nous parviennent témoignent que leurs efforts furent couronnés d'un plein succès.

En France, on s'est contenté jusqu'à présent de suivre de loin les différentes phases des expériences anglaises et suédoises; si l'on en excepte quelques tentatives qui n'ont abouti, que nous sachions, à aucun résultat industriel, la nouvelle invention n'a pas encore été sérieusement envisagée, elle n'a pas non plus aussi vivement préoccupé l'esprit public qu'on aurait dû s'y attendre. Les capitaux français sont circonspects et ne se risquent qu'à bon escient; mais la situation métallurgique qui a été faite à la France par les derniers traités de commerce intéresse de trop près sa prospérité industrielle, pour qu'on ne s'y montre pas jaloux de profiter des progrès réalisés chez de redoutables concurrents; aussi pensons-nous que, du jour où la question aura été suffisamment étudiée pour faire entrevoir des chances positives, on s'empressera d'entrer franchement dans la voie tracée par la découverte de Bessemer, et nous sommes convaincu que l'industrie nationale y trouvera des avantages d'un ordre supérieur.

Quoique tout paraisse aujourd'hui confirmer la réalité des succès obtenus; on ne peut passer sous silence les contradictions révélées par la discussion des Ingénieurs civils de Londres. Certains faits avancés par des personnes qui s'annoncent comme ayant fait d'importants sacrifices en faveur de la nouvelle invention, ne tendraient à rien moins qu'à ramener le doute sur la véracité des données expérimentales communiquées par Bessemer et ses par-

tisans ; mais il est aisé de voir que les objections portaient beaucoup moins sur les résultats acquis en dernier lieu, que sur ceux d'une époque antérieure ; on pourrait avec quelque raison reprocher à leurs auteurs d'avoir depuis lors plus ou moins perdu de vue la question.

Les expériences de Woolwich au contraire ont un caractère qui ne saurait être suspecté ; elles accusent des résultats trop supérieurs pour ne pas éveiller toute l'attention des Ingénieurs.

Elles prouvent que, sous le rapport des résistances, on a pu atteindre, tant pour le fer que pour l'acier, les limites les plus élevées que les meilleurs produits connus soient susceptibles de donner ; que, même sans le secours du martelage ou du laminage, on peut, pour des objets coulés en moules par exemple, déjà compter sur des résistances au moins égales à celles des fers et aciers le plus communément employés dans l'industrie, et en tous cas de beaucoup supérieures à celles des meilleures fontes. Nous dirons plus encore, c'est que le reproche qu'on a fait aux fers de Bessemer, d'être trop secs, est un éloge ; car c'est là le caractère des fers rigoureusement purs, qui n'étant nullement tendres sont plus difficiles à bien chauffer et à bien souder, mais n'en donnent pas moins comme résistance des résultats tout à fait supérieurs. Il est du reste si facile de remédier à ce défaut, si c'en est un, que nous n'avons pas à nous y arrêter.

En tous cas, le fait qui prédomine actuellement, c'est la possibilité de produire économiquement des fers et aciers de premier choix ; ce fait suffit pour consacrer la valeur théorique du procédé, et pour justifier les recherches expérimentales qui feront arriver tôt ou tard à ce qu'on se rende maître des difficultés pratiques. Il appartient aux hommes spéciaux d'étudier les causes qui retardent le succès à ce dernier point de vue ; c'est ce que, pour notre part, nous nous proposons de faire dans cette note ; nous nous estimerons heureux, si nous parvenons à jeter quelque

lumière dans une question qui intéresse à un si haut point l'industrie générale.

Dans les objections qui se sont successivement produites depuis la naissance du nouveau procédé, on se préoccupa d'abord de l'idée que, durant l'affinage progressif s'opérant sous l'influence de l'air, le métal devait, comme dans les autres méthodes, s'épaissir au fur et à mesure que la décarburation avance, et que cet épaississement devait rendre la manipulation très-difficile, sinon impossible, vers la fin de l'opération. Mais Bessemer, en rendant compte de ses premières expériences, annonça que l'insufflation de l'air dans la fonte liquide déterminait une élévation de température suffisante pour permettre, l'affinage étant achevé, de couler le métal en lingotières.

On pensa alors que l'élévation de température ne pouvait être obtenue qu'à la condition de brûler une grande quantité de fer, et que cela devait donner lieu à des déchets considérables. On objecta enfin que, si la température s'élevait au point de maintenir en fusion le fer réduit, il ne serait pas possible de trouver des matériaux assez réfractaires pour résister à une chaleur aussi intense.

Nous savons aujourd'hui, que les déchets n'excèdent pas 20 à 22 p. 0/0, dans l'affinage complet, 13 à 15 p. 0/0, dans l'affinage pour acier, et que Bessemer, paraît avoir résolu la question réfractaire en employant comme enduit, ou comme garniture, à l'intérieur de son appareil, le *ganister* de Scheffield. Cette matière, réfractaire par excellence, dont on fait usage depuis longtemps en Angleterre pour la préparation des fours et des creusets de fusion de l'acier, n'est autre chose qu'un grès pulvérisé, ou qu'une sorte de pisé formé de la boue des routes de la localité, qui s'obtient à un prix très-modéré.

La France possède d'excellents matériaux réfractaires, qui, dans les circonstances particulières de la fusion de l'acier don-

nent des résultats non moins avantageux; il est donc probable que, sous ce rapport, on ne rencontrera pas plus de difficultés.

Il paraîtrait résulter aujourd'hui, de ce qui est exprimé dans le mémoire de Bessemer et de la discussion à laquelle il a donné lieu dans le sein de la Société des Ingénieurs civils de Londres, que l'insuccès des premiers essais devrait être attribué aux imperfections chimiques des fontes employées; que, notamment, celles qui contiennent du soufre ou du phosphore ne seraient point susceptibles d'être avantageusement affinées par le nouveau procédé.

On a reconnu, en outre, qu'on n'arrivait à aucun résultat, lorsqu'on opérait sur de trop faibles masses, et que, pour obtenir une fluidité parfaite, il fallait traiter environ une tonne de fonte à la fois.

Là se bornent, en quelque sorte, toutes les données expérimentales utiles; on peut donc, avec quelque raison, reprocher à M. Bessemer d'avoir négligé le plus essentiel, et regretter qu'il n'ait pas jugé devoir révéler les indications pratiques qui pourraient mettre sur la voie d'une bonne discussion théorique de son système. Il serait intéressant, par exemple, de connaître exactement, la composition chimique des fontes employées, et celle des produits correspondants; quels volumes d'air il est nécessaire d'insuffler par 100 k. de fonte, selon les produits qu'on veut obtenir; la pression initiale la plus convenable à donner à cet air; quelles sont les proportions de déchets suivant la durée plus ou moins longue des opérations, ou suivant la nature des produits obtenus; quelles sont enfin, dans ces déchets, les relations à établir entre les quantités représentées par les scories et celles entraînées au dehors de l'appareil par la violence d'éruption des gaz, etc., etc.

Nous allons, néanmoins, essayer de déduire de quelques con-

sidérations théoriques, qui nous paraissent le mieux s'appliquer au sujet, la marche qu'il conviendrait de suivre, pour arriver le plus sûrement et le plus promptement à des résultats industriels.

Dans tout affinage, le réactif essentiel c'est l'oxigène, dont le rôle, basé sur des différences d'affinité, est de transformer le carbone en gaz oxide de carbone qui se dégage, et les corps étrangers en oxides et acides, qui, réagissant accessoirement les uns sur les autres, se séparent du fer à l'état de scories fusibles. Ces réactions ne peuvent avoir lieu sans le secours d'une température élevée; elles opèrent la réduction d'une manière d'autant plus rapide et complète, que le métal approche le plus de l'état de fluidité.

Mais l'oxigène agit tout aussi bien sur le fer que sur les autres composants de la fonte; seulement, comme il a plus d'affinité pour le carbone, il se porte de préférence sur ce dernier; et, tant que le métal en contient encore, l'oxide naissant peut être réduit à l'état métallique au fur et à mesure qu'il se forme, sauf toutefois ce qui, pendant la durée de l'opération, a pu passer et rester définitivement dans les scories vitrifiées, en compagnie des autres oxides dont le métal s'est épuré.

On ne saurait admettre qu'il pût en être autrement, car l'oxide de fer ne peut subsister à l'état libre dans la fonte, puisqu'il n'est pas soluble dans cette dernière. Jamais du moins l'analyse chimique n'a pu constater la moindre trace d'oxigène dans la fonte; jamais non plus on n'a pu découvrir la présence du carbone dans les fers brûlés qui ne sont, à tout prendre, que des fers imprégnés d'oxigène. On peut par conséquent établir avec certitude que, toutes les fois que le carbone et l'oxigène se trouveront en présence dans le fer liquide, ils se combineront immédiatement, et que, s'ils y sont en proportions convenables, le fer pourra en être complétement débarrassé.

Outre le fer et le carbone, la fonte contient toujours du silicium; le plus souvent elle renferme aussi des phosphures, lors même que les minerais qui l'auraient produite ne donneraient à l'analyse aucune trace de phosphore; elle contient enfin quelquefois du soufre et d'autres substances, telles par exemple, que manganèse, calcium, magnésium, arsenic, cuivre, etc., etc., dont l'influence est, ou trop peu nuisible, ou trop exceptionnelle pour que nous ayons à nous en occuper.

Le silicium se conduit dans la fonte liquide absolument comme le carbone, à cette différence près, que l'oxide de carbone s'échappe à l'état de gaz, tandis que la silice forme avec les oxides métalliques des silicates fusibles qui s'écoulent avec plus ou moins de facilité. Il faut croire, du reste, que l'affinité du silicium pour l'oxigène est au moins égale à celle du carbone, car on retrouve presque toujours ces deux corps dans le fer en quantités sensiblement proportionnelles à celles qui existaient originellement dans la fonte; mais la cémentation dans les oxides métalliques nous démontre que le carbone est doué de la mobilité atomique dans le métal solide, tandis que dans cette même circonstance le silicium reste fixe ou du moins il demeure dans le métal; il en résulte que, pour que ces deux substances puissent être éliminées en même temps, il faut que la réaction se fasse avec le concours de la fluidité.

Eu égard donc aux trois composants, fer, carbone et silicium, la fonte ne pouvant être considérée autrement que comme une dissolution réciproque, ou un alliage de ces trois corps, il suffirait en principe qu'elle fût liquide, et qu'elle fût attaquée en un point par l'oxigène, pour que l'affinage eût lieu; car, en raison de la mobilité atomique du carbone et du silicium liquides dans la fonte fluide, il faut supposer qu'au fur et à mesure que la dissolution s'appauvrit au point attaqué, les parties avoisinantes laissent affluer successivement de proche en proche les composants dissous,

de manière à maintenir toujours l'homogénéité de la saturation dans un état d'équilibre.

Mais il est clair que si la réaction n'a lieu qu'en un point, ou sur une surface de peu d'étendue, elle sera longue ; car elle durera tout le temps que mettra le volume d'air ou d'oxigène reconnu nécessaire, à venir présenter successivement tous ses atômes au contact du dit point, ou de la dite surface.

En outre, si l'affluence de l'oxigène est plus grande que ne le comporte la promptitude de la réaction, ou si, en d'autres termes, l'oxigène se présente en plus grande abondance qu'il ne convient pour donner au carbone et au silicium le temps d'arriver de leur côté, l'oxidation du métal gagne du terrain et finit par l'emporter.

On comprend, dès lors, que la seule difficulté pratique de l'affinage est dans la manière d'opérer mécaniquement le mélange intime des parties; car ce mélange n'a d'autre but que de multiplier les contacts du réactif, afin d'en régulariser les effets et accélérer la marche de l'opération. C'est précisément en cela que les méthodes actuelles sont dispendieuses et présentent de graves imperfections ; car, soit qu'on opère dans un feu soufflé, soit qu'on opère dans un four à puddler, si l'on expose de la fonte liquide à l'action d'un courant d'air, non seulement le bain ne peut offrir à l'oxigène qu'une surface relative de peu d'étendue, mais, cette surface se recouvrant continuellement de scories en fusion, l'accès de l'air s'y trouve sans cesse contrarié. Aussi est-on forcé de recourir à d'autres expédients.

Dans l'affinage au feu d'affinerie, on s'arrange de manière à faire traverser à la fonte le vent soufflé, en la fondant une première fois goutte à goutte sur un lit de combustible au-dessus de la tuyère, puis on aide la décarburation par le secours des scories riches qui viennent se réunir avec la fonte dans le creuset. Mais on n'obtient dans cette première période qu'un demi-affinage ; cependant le métal commence à prendre nature, il faut

alors, pour en achever la décarburation, soulever la masse, la replacer au-dessus de la tuyère, la refondre une seconde fois, la briser et la manipuler de manière à exposer successivement toutes ses parties déjà solidifiées à l'action du courant d'air, en ayant soin toujours de faire concourir utilement les battitures et les scories. Cette méthode, quelque imparfaite qu'elle soit, donne cependant de bons résultats, parce qu'on n'y emploie que des fontes supérieures et des charbons végétaux ; mais il est nécessaire qu'elle soit complétée par des ressuages ; elle est dispendieuse et constitue sans contredit la manipulation la plus pénible et la plus difficile de toutes les opérations métallurgiques.

Dans le four à puddler, on remédiait autrefois à l'inconvénient de la fluidité en n'amenant pas tout à fait la fonte à la fusion complète ; on profitait de sa faculté de granuler à un point voisin de la fusion, pour la mélanger plus intimement aux scories, et pour exposer une plus grande surface à l'action réductrice des gaz ; mais, aussitôt que le métal prenait nature, il emprisonnait ses crasses, ne présentait plus qu'un accès insuffisant à l'oxigène, l'absence de fluidité paralysait la mobilité atomique du silicium et des autres substances étrangères, et l'on n'obtenait qu'un métal souillé d'impuretés et de mauvaise qualité. On y remédie aujourd'hui dans le puddlage à haute température qui amène la fonte à l'état de fusion complète, en faisant un emploi plus étendu des crasses ; ce sont alors les oxides métalliques, fournis par ces crasses, qui opèrent en plus grande partie la décarburation. Mais on ne parvient à les mélanger d'une manière satisfaisante que par un brassage très-énergique, et il arrive toujours un moment où, le métal étant pris, il ne se laisse plus si facilement manipuler.

Ces méthodes, ainsi que tous les autres procédés qui n'en sont que des dérivés plus ou moins défectueux, se caractérisent entre les méthodes d'affinage appliquées aux métaux usuels, par l'im-

possibilité où l'on se trouve de maintenir la fluidité du métal pendant toute la durée des réactions chimiques; il en résulte, comme conséquence inévitable, que les produits manquent d'homogénéité, restent plus ou moins souillés d'impuretés mécaniquement mélangées et qu'on ne peut traiter à la fois que des masses très-peu importantes. Pour y remédier, on est forcé de soumettre ultérieurement les produits bruts à des corroyages et à des ressuages, qui, lorsqu'ils sont convenablement répétés, finissent par améliorer considérablement le produit final; mais on conçoit qu'on ne peut user de ces moyens que comme palliatifs, car, en raison des forts déchets qu'ils provoquent, ils doivent nécessairement être limités; aussi les produits définitifs laissent-ils toujours quelque chose à désirer; les résistances et les autres propriétés du métal sont inconstantes; elles forcent par cela même à rester, dans les applications industrielles, beaucoup au-dessous des limites qu'un métal parfaitement épuré serait susceptible de donner.

Enfin, les procédés actuels sont dispendieux, parce qu'ils nécessitent des mains-d'œuvre difficiles et pénibles, qu'ils donnent beaucoup de perte en déchets; et que, pendant tout le temps que les réactions et manipulations doivent durer, il faut brûler du combustible pour maintenir le métal à une température excessivement élevée.

On a pu voir, d'après les explications que nous avons déjà données, que, si l'air n'est pas exclusivement employé dans les procédés ordinaires comme agent réducteur, cela tient uniquement à ce que, en raison de l'insuffisance des moyens mécaniques ou artificiels dont nous disposons pour en régulariser l'action, il agit avec trop de promptitude ou trop d'énergie, et occasionne par cela même une trop forte oxidation du fer. On pourrait dire, en quelque sorte, que l'oxigène libre de l'air envahit le métal avec tant de précipitation, que le carbone n'a pas le temps de s'y opposer, et que, lorsque ce dernier est complétement épuisé, l'envahissement subsiste.

L'intervention des scories riches présente à cet égard un double avantage; car, outre qu'elles protégent le métal contre l'influence trop vive des gaz, elles compensent, par leur réduction partielle, le déchet que, malgré leur présence, on n'est pas parvenu à empêcher.

Mais il est certain que, si l'on pouvait régler et diriger le jeu de l'air, de manière à ne produire que juste la quantité d'oxide naissant suffisante pour opérer la réduction du fer, on réaliserait une condition excellente, car l'oxigène libre de l'air est de toute manière l'agent le plus utile de la réaction ; il n'y aurait pas, dans ce cas, d'autre déchet que celui représenté par les substances à éliminer de la fonte, et conséquemment pas de scories riches à utiliser. On éviterait donc l'emploi d'une matière qui est devenue le réceptacle de toutes les impuretés dont on cherche à se débarrasser, qui se trouve encore salie de toutes les terres qui s'y sont réunies au moment où on les a recueillies au pied des fours, des laminoirs et des marteaux, et qui dans bien des circonstances peut offrir certains dangers, eu égard à la qualité finale des produits.

L'expérience a d'ailleurs prouvé que l'oxide combiné des scories n'a presque aucune action sur les substances étrangères; cela se conçoit d'autant mieux, que l'oxigène déjà combiné avec le fer ne peut obéir qu'à une affinité plus grande; il ne doit donc céder qu'au carbone qui, étant lui-même à l'état libre, se trouve dans les meilleures conditions pour l'enlever au métal.

A tous ces points de vue, le procédé Bessemer, il faut le reconnaître, présente le type le plus parfait qu'il soit possible d'imaginer. L'injection de l'air dans un bain de fonte liquide, par un grand nombre de tuyères à la fois, tout en multipliant extraordinairement l'étendue des surfaces en contact direct avec le réactif, provoque en même temps un violent bouillonnement qui mélange sans cesse les produits naissants de la réaction ; il en résulte que

l'oxigène, dans son passage à travers la masse, doit rencontrer continuellement le carbone et les substances avec lesquelles il doit se combiner, et que ses précieuses facultés réductrices peuvent être utilisées sans envahissement de sa part. C'est là un moyen radical qui réalise, sous une autre forme et de la manière la plus heureuse, les effets du brassage des fours à puddler combinés avec ceux du soufflage des feux d'affinerie, sans le secours d'une main-d'œuvre pénible et coûteuse; et, comme il procure en outre l'immense avantage de développer une élévation de température capable de conserver en toutes circonstances, sa fluidité au métal, les réactions peuvent s'achever d'une manière plus homogène et plus complète, sans l'emploi d'aucun combustible étranger.

Nous voyons donc que, eu égard au carbone et au silicium, la méthode Bessemer est des plus rationnelles et qu'elle doit assurer la complète réduction du fer dans un temps très-court; car, nous le répétons, il n'est pas même nécessaire que l'oxigène aille chercher successivement tous les atômes de la fonte pour les réduire individuellement; quelle que soit l'étendue ou la multiplicité des contacts, la réduction s'opère simultanément et progressivement dans toute la masse du bain métallique, pourvu, bien entendu, que celui-ci reste constamment liquide et doué d'une parfaite fluidité.

Le mélange et la subdivision de l'air ont plutôt pour effet utile d'empêcher ce que nous avons appelé l'envahissement du métal par l'oxigène, et de suppléer à l'insuffisance des moyens artificiels qu'offrent les méthodes actuelles pour mettre en harmonie l'activité de ce dernier avec la vitesse d'affluence atomique des substances qu'il s'agit d'expulser.

Lorsque les fontes contiennent du soufre, du phosphore et d'autres métaux que le fer, l'élimination n'en est pas aussi facile, parce que le soufre et le phosphore se combinent avec le fer, et

certains métaux sont réduits par le carbone au fur et à mesure qu'ils parviennent à être oxidés.

Les sulfures et phosphures existent à la vérité à l'état de dissolution dans la fonte liquide ; à cet égard, ils devraient, quant à l'appauvrissement progressif de la dissolution, se conduire comme le carbone et le silicium ; mais l'oxigène ne peut agir sur les corps combinés avec la même énergie que sur les corps libres en dissolution ; il arrive donc que, tant que la fonte retient du carbone et du silicium, il se porte de préférence sur ces derniers, et qu'il ne peut agir avec autant d'efficacité sur les sulfures et phosphures.

Ceci explique pourquoi les fontes sulfureuses et les fontes phosphoreuses ne peuvent donner des produits supérieurs, quelle que soit d'ailleurs la méthode d'affinage qui leur soit appliquée ; parce que, pour parvenir à expulser les dernières traces de soufre et de phosphore, il faudrait pouvoir poursuivre l'oxidation générale après la complète décarburation, qu'un semblable résultat ne saurait être atteint sans oxider le fer lui-même dans de fortes proportions, et qu'il n'existe pas, comme dans le raffinage du cuivre par exemple, de moyen pratique et économique d'enlever l'oxigène après la purification du métal.

Il se présente donc là un obstacle sérieux, car il semble au premier abord, que plus on favorisera la rencontre de l'oxigène et du carbone, plus la décarburation marchera rapidement, moins on aura de chances de pouvoir expulser le soufre et le phosphore ; et l'on sait combien la présence de ces métalloïdes est préjudiciable à la qualité du fer.

Dans les procédés actuellement en usage on parvient, jusqu'à un certain point, à améliorer les conditions de traitement des fontes sulfureuses et phosphoreuses, en retardant autant que possible la décarburation ; on diminue à cet effet les proportions de scories, on les supprime même tout à fait, et on les remplace par

le carbonate de chaux. On peut alors oxider plus fortement, quitte à les réduire ensuite par leur mélange avec la masse carburée, les parties de métal où, par suite des différences de densité et de fusibilité, ont pu venir se grouper, pendant la fusion, les plus fortes proportions de sulfures et de phosphures ; l'adresse et l'intelligence de l'ouvrier peuvent dans ce cas être utilement employées, quoique cela ne laisse pas que d'être assez dispendieux.

Dans le procédé Bessemer, au contraire, nous verrons que, loin de pouvoir retarder l'affinage, il est de la plus haute importance de le précipiter ; que l'introduction d'agents chimiques étrangers n'est pas sans inconvénients, et que l'opération ne comporte, en elle-même, aucune main-d'œuvre à l'intérieur du vase réducteur ; il n'y a donc de ressource à espérer que celle que peut offrir une température excessive, jointe à l'excellence du mode de réaction. Nous avons déjà vu que, pour le silicium, la mobilité atomique n'est réellement bien développée qu'à l'état de fluidité, et que c'est à cela qu'on doit sans doute attribuer la grande supériorité du procédé Bessemer, quant à l'expulsion de cette matière ; nous avons vu aussi que le soufre et le phosphore, comme en général toutes les substances étrangères, sont beaucoup plus utilement attaquées par l'oxigène de l'air, que par celui des scories ; il y a donc tout lieu d'espérer que dans un procédé, qui, sous tant de rapports, réunit des conditions si parfaites, on parviendra tôt ou tard à corriger les fers vicieux au moins aussi bien que dans les anciennes méthodes ; et aussi longtemps que l'expérience ne se sera pas plus fortement prononcée, tant du moins qu'on n'aura pas vaincu d'abord les difficultés d'exécution pratique, on ne devra point proscrire à l'avance et d'une manière absolue, l'emploi des fontes sulfureuses et phosphoreuses.

Au surplus, les fers peuvent retenir de faibles quantités de soufre ou de phosphore, sans pour cela être absolument inférieurs ; lorsque les fontes en contiennent trop, on peut les corriger

par des mélanges, ou mieux encore en modifiant le traitement de leurs minerais au haut-fourneau.

Quoi qu'il en soit, nous admettrons volontiers, surtout en vue d'expériences, que les fontes fines supérieures exemptes de soufre et de phosphore, ou tout au moins n'en contenant que de faibles traces, sont indispensables pour obtenir des résultats tout à fait satisfaisants. Mais nous ne pensons pas que la réussite du procédé Bessemer dépende uniquement de la composition chimique des fontes ; nous croyons intimement que les conditions physiques qui régissent l'opération elle-même exercent une influence majeure sur son exécution pratique.

Il était du reste, hâtons-nous de le dire en passant, tout naturel de supposer à priori que les fontes les plus pures devaient être les plus propres à donner de bons résultats ; car c'est ce qui a lieu dans presque tous les procédés ordinaires ; aussi doit-on penser que Bessemer, ainsi que les autres expérimentateurs, n'aura pas tardé à recourir aux fontes pures pour apprécier la valeur de la nouvelle méthode d'affinage. Cependant les bons résultats se sont fait longtemps attendre, et l'on n'indique pas encore, à l'heure qu'il est, de règle sûre pour les obtenir.

Il est pourtant facile de reconnaître aujourd'hui, d'après certains indices qu'on retrouve dans tous les documents publiés, que la rapidité de marche de l'opération est peut-être la condition essentielle ou indispensable du procédé.

Il faut en effet, et c'est là selon nous le point capital, que le volume d'air nécessaire à la réaction traverse le bain métallique dans le plus court espace de temps possible, qu'il soit divisé de manière à se répartir le plus complétement, et en même temps, dans toute la masse liquide ; car, de ces deux conditions réunies dépend la possibilité de réaliser l'élévation de température qu'il est nécessaire que le métal atteigne pour que l'opération puisse être conduite à bonne fin.

L'élévation de température est uniquement due ici au calorique développé par les réactions chimiques, soit : par la combustion du carbone et du silicium, par l'oxidation du fer et des substances qui passent en scories, et par l'oxidation préalable qu'il faut admettre pour concevoir la décarburation.

Ces diverses réactions sont capables de développer beaucoup de chaleur ; mais il est clair que le calorique engendré n'est pas absorbé seulement et uniquement par le métal, mais bien aussi par la matière de l'appareil, par les gaz qui s'échappent de son col, et par celles des réactions chimiques qui empruntent du calorique au lieu d'en engendrer.

Or, il va sans dire que la quantité de calorique ainsi perdue, ou dérobée au métal, est proportionnelle à la quantité d'air employée, au temps que dure l'opération; que le volume et la masse relative de l'appareil doivent avoir une influence eu égard à la puissance d'absorption et à la perte due au rayonnement, et enfin que les réactions absorbantes doivent être réduites ou écartées autant qu'il est possible.

Si, en raison des causes de déperdition que nous indiquons ci-dessus, le calorique ne peut être emmagasiné et retenu par le métal en quantité suffisante, celui-ci ne doit pas tarder à s'épaissir au fur et à mesure qu'il s'appauvrit en carbone ; l'air ne s'y mélange plus intimement, il se fraie néanmoins un passage par des cheminées qu'il ouvre dans la masse épaissie. La mobilité du carbone n'est plus suffisante pour permettre à ce composant d'affluer avec diligence là où se produit l'oxidation préliminaire de la réduction, et comme, en fin de compte, il faut faire la coulée avant que le métal soit tout à fait pris, on n'obtient qu'un affinage incomplet, qu'une masse fonteuse hétérogène difficile à couler, qui retient emprisonnées les scories et les bulles de gaz, dont, en raison de son manque de fluidité, elle n'a pu se séparer.

On réalise, en un mot, toutes les conditions d'un mauvais

puddlage, sans pouvoir comme au four à puddler, y remédier par un vigoureux coup de feu, ou par un brassage énergique.

Si, au contraire, le soufflage est fait avec assez de puissance et de rapidité, le métal peut emmagasiner et retenir plns de calorique, parce que l'appareil n'a pas le temps d'en absorber ou rayonner autant ; si avec cela l'air est convenablement divisé, il se brûle plus complétement, le volume à injecter peut en être réduit, les gaz qui résultent de sa combustion emportent par conséquent de leur côté moins de calorique, et son oxigène fait plus de besogne utile, sans oxider outre mesure le fer qui s'offre à son contact.

La conséquence de tout cela est une élévation toujours croissante de la température, qui, maintenant en toutes circonstances le bain métallique dans un parfait état de fluidité, donne une activité encore plus grande aux réactions, et permet à l'affinage de s'achever dans les meilleures conditions. Enfin au moment de la coulée, le métal conserve assez de cette fluidité pour qu'il puisse se séparer des scories et bulles de gaz, un instant mélangées par le bouillonnement, et lorsqu'il est coulé dans les moules, ou dans les ingotières, les masses obtenues ont pu prendre des formes variées en restant compactes, rigoureusement saines, homogènes et purifiées.

On ne manquera pas d'objecter que les réactions chimiques, dans le procédé Bessemer, sont les mêmes que dans les autres procédés où elles n'élèvent cependant pas sensiblement la température. C'est en effet toujours l'oxigène qui est le réactif essentiel, et c'est sa combustion qui engendre le calorique ; mais il ne faut pas perdre de vue que, dans les procédés ordinaires, l'oxigène n'est pas seulement fourni par l'air, mais aussi et en plus grande partie par les oxides métalliques et les crasses ou scories qu'on fait intervenir comme agents de réduction. Sous cette forme l'oxigène est déjà combiné ; il ne se sépare qu'à la faveur d'une double décomposition qui, au lieu d'engendrer du calorique, en

absorbe ; une fois isolé, il en rend, à la vérité, immédiatement après, par sa combinaison avec le carbone; mais il se peut qu'il en rende moins qu'il n'en a pris, et, en tous cas, la lenteur de marche des opérations favorise des déperditions que le combustible des grilles ne suffit pas à combler.

On observe d'ailleurs quand on puddle certaines fontes blanches que, dès que le métal entre en fusion et que la réaction commence, la température augmente rapidement et se maintient un certain temps, sans qu'on puisse en attribuer la cause au chauffage de la grille du four. Cela tient évidemment à ce que, dans cette fonte blanche qui entre en fusion à une température peu élevée, le carbone a une tendance très-vive à s'en séparer, par cette raison toute simple que son degré de saturation est plus fort que ne le comporte sa température de fusion ; il en résulte qu'au commencement, la réduction étant extraordinairement favorisée, elle marche avec une rapidité extrême que justifie du reste parfaitement la propension de l'oxigène à envahir le métal ; et, malgré les causes de déperdition, le calorique engendré par la réaction de l'oxigène libre avide de pénétrer sur le carbone empressé de sortir, est suffisamment abondant pour que le métal puisse en retenir un instant une certaine quantité.

Cette circonstance démontre de la manière la plus évidente la possibilité d'une élévation de température sans que la combustion du fer en soit la condition nécessaire. Et si maintenant on réfléchit que, dans le procédé Bessemer, tout l'oxigène introduit arrive à l'état libre; que toutes ses combinaisons directes engendrent par conséquent du calorique ; que, si l'oxide préalablement formé en absorbe à son tour, il ne peut en reprendre que juste ce qu'il en a donné ; on concevra que la température générale de la masse pourra être élevée sans le secours d'aucun combustible quelconque, pourvu que les réactions marchent avec assez de rapidité.

On peut rendre plus saisissante encore l'importance du rôle que

doit jouer la rapidité de marche de l'opération, en faisant intervenir quelques chiffres. On sait que la fonte grise est en fusion à 1100 ou 1200°; que le fer n'entre lui-même en fusion qu'entre 1500 et 1600°; pour l'amener à une fluidité convenable, il faut peut-être élever sa température à 1800 ou 2000 degrés. Si donc l'opération était conduite de manière à n'obtenir au moment de la coulée qu'une température maxima de 1500 à 1600°, on rencontrerait inévitablement tous les inconvénients que nous avons signalés.

Il peut même arriver que cette température de 1500 à 1600 degrés, qui est absolument nécessaire pour la coulée, n'ait pas été atteinte pendant la réaction, qu'on y soit arrivé cependant un peu plus tard par la combustion du fer ; dans ce cas, le produit pourrait être un peu moins mauvais, mais le déchet serait excessif.

Tel ne doit pas être le but ; il importe que l'opération soit bien conduite dès le commencement ; la rapidité d'exécution et la division de l'air sont donc des conditions nécessaires pour assurer une élévation de température suffisante.

Or la chaleur spécifique du fer est environ. . . .	0, 11.
Celle de la fonte	0, 15.
Moyenne. . . .	0, 12.

Il suffit donc de 12 unités de chaleur, en moyenne, pour élever d'un degré la température de 100 k. de métal. Si l'élévation de température nécessaire pour obtenir la fluidité requise est de 600° par exemple, il faudra 7200 calories pour cent kilogrammes de métal, soit à peu près ce que peut donner la combustion de un kilogramme de carbone se transformant en acide carbonique, ou trois kilogrammes de carbone se transformant en oxide de carbone. Mais le succès ou l'insuccès de l'opération pourront dépendre de ce que le métal aura pu emmagasiner et retenir le tiers ou le quart de cette quantité, en plus ou en moins, soit l'équivalent du calorique que peut donner une fraction de kilogramme de car-

bone transformé en un mélange des deux gaz produits par sa combustion.

Si l'on rapproche ces données, purement hypothétiques du reste quant aux chiffres, des ressources calorifiques de la réaction, on se convaincra de la possibilité de réussir à élever convenablement la température du métal, mais c'est à la condition de ne rien laisser perdre, car tout le calorique n'est pas employé exclusivement à chauffer ce dernier ; quelle que soit la durée de la réaction, l'appareil absorbe et rayonne, et les gaz en emportent une forte quantité.

La fonte peut contenir jusqu'à 5, 5 p. 0/0 de carbone et 3, 5 p. 0/0 de silicium; donc la combustion représente déjà beaucoup plus de calorique qu'il n'en faut pour chauffer le métal ; la formation de l'oxide des scories et les petites réactions secondaires peuvent en donner aussi de notables quantités; en sorte qu'on peut dire que la quantité de chaleur à faire retenir au métal n'est en réalité qu'une fraction de la chaleur totale qui peut être engendrée par les réactions chimiques; on voit donc qu'il n'est pas du tout nécessaire de brûler du fer comme combustible pour en fournir assez. Seulement il faut probablement n'employer que des fontes capables de procurer ce calorique par leurs composants autres que le fer, si l'on ne veut pas s'exposer à de trop forts déchets; or, certaines fontes ne contiennent que fort peu de silicium ou autres métaux terreux, d'autres n'ont que 2 à 3 p. 0/0 de carbone; enfin, parmi les fontes les plus pures, il en est qui ne renferment que de très-faibles quantités de l'un, le minimum de l'autre; ce sont en outre précisément celles qui offrent par leur composition le moins d'éléments pour la formation des scories. Il y a donc lieu avant toute chose de tenir compte de la composition chimique, non pas seulement eu égard aux impuretés nuisibles à la qualité du produit, mais encore eu égard à la teneur en composants combustibles.

Il sera, du reste, toujours facile, en remontant aux opérations de production de la fonte, de préparer cette dernière de manière à ce qu'elle contienne en suffisantes quantités les agents utiles de la génération de chaleur; et rien ne s'opposera à ce qu'on puisse prendre en même temps les mesures les plus favorables pour la débarrasser, autant qu'il sera possible, des substances nuisibles disposées à résister à la nouvelle méthode d'affinage.

Ne connaissant point la composition chimique des fontes employées par Bessemer dans ses diverses expériences, il nous est impossible d'apprécier jusqu'à quel point l'insuffisance de composants combustibles autres que le fer a pu influer sur les résultats successivement obtenus jusqu'à ce jour; mais si, d'après ce qui est rapporté, les proportions de déchets ont pu s'élever à 40 p. 0/0 et au delà, alors qu'on ne parvenait qu'à grande peine à faire de très-médiocres produits, tandis que les échantillons remarquables présentés depuis ont été obtenus avec un déchet réduit de moitié, il y a tout lieu de croire que la composition chimique n'a joué qu'un rôle secondaire dans la question; on peut au moins tirer de l'expérience des faits cette induction, que les déchets disproportionnés et les résultats médiocres comme qualité sont bien plutôt la conséquence des imperfections physiques qui ont présidé dans l'origine à la conduite des opérations.

Si les expériences avaient toujours été aussi bien exécutées qu'elles l'ont été en dernier lieu, on aurait au moins décarburé la fonte, on l'aurait aussi purgée de son silicium et des autres métaux terreux qui ne se combinent pas avec le fer, et la qualité finale des produits se serait caractérisée d'une manière plus positive, si elle n'avait été influencée que par la présence du soufre ou du phosphore.

Au surplus, rien ne justifie la nécessité de consumer 30 p. 0/0 de matière de plus qu'il n'est nécessaire pour l'épuration du métal et l'élévation de la température; toutes les objections qui pour-

raient être faites à cet égard tombent devant ce fait, qu'on a pu parvenir à d'excellents résultats avec 20 p. 0/0 de déchet total.

Quoi qu'il en soit, si l'on évalue, par analogie avec ce qui a lieu dans les meilleurs procédés d'affinage, le déchet attribué à la teneur en carbone et silicium, et aux oxides des scories, à 8 ou 10 p. 0/0, quantité qui, ainsi que nous l'avons démontré, est déjà plus que suffisante pour procurer le calorique indispensable, il y aurait, même dans les meilleures expériences de Bessemer, un excédant de 10 p. 0/0 de fer réellement brûlé sans aucun profit. On observe, en effet, que pendant toute la durée de l'affinage une forte déperdition se manifeste par une gerbe d'étincelles qui remplit le courant des gaz, et s'épanouit au dehors de l'appareil. C'est là sans doute un inconvénient majeur, qui résulte de la violence de l'insufflation; mais il est à remarquer que les parcelles de fer ainsi entraînées et brûlées par le courant des gaz ne cèdent point de calorique au métal, puisqu'elles se consument au dehors; leur combustion n'est donc pas nécessaire pour concourir à l'élévation de température. Quant à celles qui retombent dans le bain, leur influence doit surtout être pernicieuse en ce qu'elles viennent augmenter à la surface la scorification de l'enduit intérieur de l'appareil, ou, si elles se mélangent de nouveau à la fonte, elles lui dérobent, pour opérer leur réduction, un calorique qu'elles ne lui avaient pas préalablement donné.

Il serait donc très-désirable qu'on parvînt à diminuer ce déchet qui n'est pas utile. On y parviendra bien certainement, si l'on cherche à réduire la quantité d'air à injecter à ce qui est rigoureusement nécessaire pour opérer la réduction du métal. Pour y arriver, il suffira de diviser l'air en un plus grand nombre de jets répartis uniformément dans toute la masse, et de régler la hauteur de la colonne liquide de manière à ce qu'il ait le temps de se brûler plus complétement avant d'arriver à la surface. Sa

pression initiale devra être en raison de cette hauteur, mais il est probable que plus l'air sera divisé en petits jets, moins cette hauteur et cette pression auront besoin d'être grandes, parce que pour un même volume la vitesse de circulation pourra être réduite.

On concevra parfaitement que, si le volume d'air qui doit traverser la fonte le plus rapidement possible est introduit par une seule ou par un petit nombre de buses, il lui faudra une pression initiale notablement supérieure à celle correspondant à la hauteur de la colonne liquide, parce que, s'il en était autrement, pour peu que l'orifice des buses fût grand, le métal aurait une tendance à couler au travers. Il résulterait de l'excès de pression qu'il faudrait nécessairement donner à l'air pour fermer tout accès à la fonte liquide, qu'il traverserait le bain avec plus de vitesse, qu'il serait moins disposé à se diviser en bulles, ou que ces bulles d'un plus grand volume et animées d'une plus grande vitesse d'ascension ne pourraient se brûler convenablement. En outre, lorsqu'elles viendraient crever à la surface, elles conserveraient une grande puissance d'entraînement relativement aux parcelles de fer qui trouveraient d'ailleurs à s'y brûler complétement dans l'excès d'oxigène non utilisé.

Si au contraire les buses sont petites, mais en plus grand nombre, afin de pouvoir débiter autant d'air dans le même temps, la pression initiale pourra n'être que juste suffisante pour permettre à celui-ci de s'introduire dans le vase ; abandonné dès ce moment à lui-même, il se divisera en une infinité de petites bulles qui circuleront avec la vitesse due à leur différence de densité ; elles pourront se brûler intégralement dans leur passage à travers la masse liquide, et, arrivées à la surface, elles n'auront point cette force d'entraînement qui emporte les parcelles de fer.

Tout semble donc se lier dans cette condition de la plus grande division possible de l'air, son moindre volume, sa pression ini-

tiale minima, et par suite la moindre quantité de calorique emportée par les gaz, le minimum de déchet provoqué par la force d'entraînement et la faculté oxidante qu'ils peuvent conserver après leur circulation dans la fonte liquide, enfin la possibilité d'abréger la durée des opérations, et d'élever progressivement la température sans autre calorique que celui qui est engendré par les réactions utiles.

Au reste, l'expérience a déjà confirmé en grande partie la vérité de ces principes : on était arrivé à insuffler l'air par un petit nombre de buses sous une pression initiale de 80c de mercure; on a pu, plus tard, en portant ce nombre à 20, réduire la pression de moitié.

La durée des opérations, qui était dans le commencement de 25 à 30 minutes, lorsqu'on n'opérait que sur de faibles quantités de fonte, est aujourd'hui de 10 à 12 minutes pour produire du fer, de 7 à 8 minutes pour produire de l'acier; et on traite à la fois des quantités de métal beaucoup plus importantes.

Nous pensons avoir suffisamment démontré que l'élévation de température est indispensable, qu'elle peut s'obtenir sans qu'il soit nécessaire de brûler du fer, et nous avons établi que la division de l'air et la célérité de la réaction sont les conditions essentielles à réaliser pour que le métal puisse emmagasiner plus de calorique qu'il n'en peut perdre pendant le même temps; mais ce n'est pas tout. Nous avons dit que la masse et la forme de l'appareil devaient exercer une certaine influence; elles demandent par conséquent à être étudiées. Il est certain que si la masse est considérable par rapport à la capacité, l'absorption relative de calorique sera plus forte; il doit convenir par conséquent d'opérer sur de grandes quantités de fonte à la fois, et de donner à l'appareil une forme extérieure telle que, pour une épaisseur d'enduit reconnue nécessaire, on en réduise le plus possible la masse. La forme extérieure est d'ailleurs commandée par la né-

cessité de laisser le moins de prise au rayonnement ; à cet égard la forme ovoïdale, adoptée en dernier lieu par Bessemer, est rationnelle, car elle se rapproche, comme on a très-bien su le remarquer, de celle des retortes employées en chimie pour les distillations.

La quantité d'air à introduire dans le bain dépendra, de son côté, comme nous l'avons déjà vu, de la composition chimique des fontes et de la manière plus ou moins parfaite dont il aura pu se brûler ; il y a là évidemment une étude à faire qui permettra en même temps de régler l'épaisseur du bain de fonte à traverser ; si cette épaisseur pouvait être telle, que l'air extrêmement divisé pût s'y brûler complétement avant d'arriver à la surface, les gaz produits seraient de l'azote et de l'oxide de carbone qui, n'étant pas oxidants, ne seraient plus à craindre ; mais, si l'on réussit à réaliser cette condition au commencement, lorsque le carbone et les autres composants à oxider sont abondants, il est douteux qu'on puisse y parvenir avec autant de succès vers la fin de l'opération.

Au reste, la nature oxidante que les gaz peuvent avoir conservée après leur circulation dans le métal n'est à craindre qu'en raison de leur puissance d'entraînement, à cause de l'oxidation exagérée à laquelle cette double circonstance peut donner lieu. Si, par contre, on parvient à réduire ou empêcher l'entraînement des parcelles de fer, il pourra y avoir avantage, dans l'intérêt de la production de chaleur, à régler l'insufflation de manière à former plutôt de l'acide carbonique.

Quant à la possibilité de doser rigoureusement la quantité d'air ou d'oxigène, en vue d'obtenir un produit déterminé comme acier, il ne faut pas y songer ; car on ne parviendrait jamais à connaitre d'une manière suffisamment exacte la composition des fontes qui ne peuvent être considérées comme produits homogènes ; si d'ailleurs l'air ne se brûle qu'inégalement, comment arriver à le

mesurer! L'ouvrier sera sous ce rapport beaucoup mieux dirigé par l'inspection de la flamme ou par sa propre expérience; et, il faut l'espérer, la grande habitude qu'on acquiert lorsqu'on s'attache à une spécialité suppléera à l'inpuissance des données théoriques.

Tout ce qui peut contribuer à provoquer un refroidissement, ou à une absorption de calorique capable d'empêcher ou de retarder l'élévation de température, devra être évité avec le plus grand soin. Il faut cependant admettre en principe qu'une certaine proportion de scories sera nécessaire pour que les corps étrangers puissent être évacués après l'oxidation, mais, selon toutes probabilités, les éléments existeront toujours en suffisante quantité dans la fonte; il est à craindre aussi que l'enduit réfractaire ne soit que trop disposé à en donner.

On a essayé d'introduire, en même temps que l'air, des oxides naturels riches et purs, réduits en poussière, ou d'en répandre dans l'intérieur du vase réducteur avant l'arrivée de la fonte; ces tentatives, qui avaient pour but de hâter la réaction, n'ont pas eu et ne pouvaient avoir de succès, parce que la réduction de ces oxides absorbait du calorique et augmentait la proportion des scories. La vapeur d'eau, l'acide carbonique, qui dans certains cas pourraient agir comme agents réducteurs, présentent, ainsi que tous les gaz combinés en général, les mêmes inconvénients. On a cherché enfin à tapisser de ferrailles brûlées les parois intérieures de l'appareil, comme cela se pratique pour les fours à puddler; cela n'a pas mieux réussi, et pour les mêmes raisons.

Aucun réactif ne peut remplacer l'air, parce que ce dernier, tout en produisant le calorique nécessaire, l'engendre dans la masse du bain et opère en même temps le brassage le plus parfait qu'il soit possible d'espérer. On ne devra donc recourir à d'autres agents s'il y a intérêt à le faire, comme par exemple pour préserver l'enduit réfractaire, pour corriger dans certains cas la

nature vicieuse des fontes ou pour tirer parti de scories et oxides riches inutilisés, qu'autant qu'on sera parvenu auparavant à assurer en toutes circonstances les moyens d'élever suffisamment la température.

Tous les efforts devront donc se tourner de ce côté; il est essentiel de n'aborder la question que muni de machines soufflantes puissantes, d'appareils bien combinés; et, pour peu qu'on dispose de fonte de bonne qualité, il nous semble presque impossible qu'on n'arrive pas très-promptement à des résultats pratiques satisfaisants.

Nous ne mettons pas en doute non plus que, si l'on parvenait à développer le maximum de température dans un espace de temps très-court, on chaufferait assez le bain métallique pour que celui-ci pût se maintenir avec toutes les conditions de fluidité convenables dans un vase dont les parois, soit en fonte, soit en fer, convenablement rafraîchies, dispenseraient de l'enduit réfractaire intérieur.

On supprimerait par cela-même un double inconvénient, celui de l'emploi d'une matière qui, par sa scorification, augmente le déchet du fer, et par sa valeur représente une dépense stérile.

Quant à la nature de fonte à préférer, nous pensons qu'à part la question de pureté chimique, que nous avons déjà discutée, les fontes grises et riches en carbone devront être recherchées, parce que ce sont celles qui, entrant en fusion à la température la plus élevée, permettent d'introduire le métal dans le vase réducteur à la température initiale la plus forte, en sorte que la distance qui reste à franchir pour arriver à la plus grande fluidité du fer réduit en est d'autant diminuée.

La plus grande teneur en carbone contribuera le mieux de son côté à une forte production de chaleur.

Ces fontes sont à la vérité les plus siliceuses, elles donneront

pour cette raison plus de déchet, mais le silicium n'est pas à craindre dans l'affinage de la fonte à l'état liquide, et loin de nuire, il procurera, par sa combustion, du calorique qui sera utilement employé.

Au reste, en conseillant l'emploi des fontes grises fortement carburées, qu'il sera toujours facile de produire en réglant en conséquence l'allure des hauts-fourneaux, nous n'avons en vue que d'indiquer les conditions qui nous paraissent le plus propres à faire obtenir promptement de bons résultats; il est fort possible que, si l'on parvient à développer plus rapidement le maximum de température, on pourra traiter avec non moins de succès les fontes blanches et les fontes peu carburées.

Il faut remarquer relativement au déchet, que, si le procédé Bessemer en donne un peu plus qu'un puddlage bien ordonné, le fer produit est pur, homogène, sans pailles ni soufflures; les manipulations par lesquelles il devra passer ultérieurement, pour recevoir sa forme définitive, n'exigeront par conséquent plus de ressuages intenses, comme c'est le cas pour les fers affinés au charbon de bois et les fers puddlés. La facilité avec laquelle on pourra couler de forts lingots permettra aussi de supprimer les corroyages, qui occasionnent toujours un déchet considérable.

La proportion du déchet d'affinage pourra d'ailleurs, dans le plus grand nombre des circonstances, être sensiblement diminuée, si on ne s'astreint pas à achever trop complétement la réduction. Les fers fibreux ou à nerf, dits fers câbles, n'ont que des applications obligatoires assez restreintes dans l'industrie; la plupart des bons fers sont appelés à recevoir un travail de forge et à repasser, par conséquent, au feu. Il y a tout bénéfice alors à les choisir légèrement carburés, parce qu'ils en deviennent plus tendres à chaud, se soudent avec plus de facilité, résistent mieux à l'oxidation du chauffage et sont moins sujets à se brûler.

L'action des chaudes ayant pour effet de consumer le carbone, ils finissent par acquérir par le travail tout le nerf qu'on peut désirer. La présence du carbone exalte d'ailleurs la résistance absolue du fer et lui donne plus d'élasticité.

En ne poussant pas l'affinage jusqu'à la complète décarburation, on évitera tout le déchet qui se produit dans la période la plus délicate de l'opération, celle où, les dernières traces de carbone étant sur le point d'abandonner le métal, l'oxigène commence à l'envahir et à faire ses ravages.

Au surplus, l'opportunité d'une décarburation plus ou moins grande dépendra nécessairement de la qualité des fontes d'affinage; il est tout naturel de penser que toutes celles qui pourront être avantageusement traitées pour acier le seront de préférence, et, si l'acier coûte moins que le fer, il est probable qu'il se substituera volontiers à lui dans bien des emplois, où il pourra rendre des services supérieurs.

Quant à la qualité des prodnits obtenus par le procédé Bessemer, on ne saurait contester aujourd'hui la possibilité d'affiner complétement la fonte, c'est-à-dire la débarrasser intégralement de son carbone. La réaction se faisant avec le concours de la fluidité, le silicium suivra la fortune du carbone, ces deux composants obligés de la fonte abandonneront ensemble, et pour ainsi dire se donnant la main, le fer soumis à l'action de l'oxigène.

Si donc la fonte est fine, si elle ne contient pas de matières nuisibles, le produit en fer sera pur et de première qualité.

Il n'en sera pas tout à fait de même lorsqu'il s'agira de produire de l'acier; car, tant que le métal retiendra du carbone, il n'aura pu abandonner tout son silicium, et il en conservera une quantité proportionnelle au carbone retenu. Or, le silicium a le tort de détruire plus ou moins le corps du métal, et particulièrement le corps de l'acier; son influence est surtout nuisible dans les aciers vifs destinés à la trempe.

La condition essentielle à rechercher dans les fontes fines à traiter pour aciers supérieurs sera donc de choisir, parmi les fontes grises riches en carbone, celles qui seront les moins siliceuses. A ce titre, les fontes supérieures de Suède conserveront encore leur vieille réputation, et c'est sans doute avec quelqu'une de ces excellentes fontes, qu'on aura pu produire les échantillons d'aciers supérieurs qui, selon ce qui en a été dit par le colonel Eardly Wilmot à la suite des expériences de l'arsenal de Woolwich, ont pu soutenir la comparaison des meilleurs aciers d'Angleterre.

Peut-être y avait-il dans cette appréciation trop de partialité; toujours est-il que, malgré les avantages du procédé Bessemer, la méthode la plus rationnelle pour produire des aciers vraiment supérieurs consistera toujours à préparer d'abord un fer pur, et à le cémenter après, afin que le produit final ne soit qu'un *fer pur carburé*. Mais cette condition n'exclut pas la participation du procédé à la production des aciers supérieurs, puisqu'il offre le meilleur moyen de préparer des fers rigoureusement purs; seulement son concours devra se borner à la préparation du fer, et l'on devra continuer à se servir des méthodes en usage pour la transformation en acier.

Au reste notre opinion, sur ce point important de la question des aciers supérieurs, est basée sur l'idée que nous avons, que le silicium ne quitte la fonte liquide qu'en même temps que le carbone; le mémoire de Bessemer exprime l'avis que le départ du silicium précède celui du carbone; il faudrait pour que cela pût avoir lieu que l'affinité pour l'oxigène fût plus grande pour l'un que pour l'autre, ce qui est dans les choses possibles; le silicium ne se rencontre jamais à l'état libre isolé, ce qui prouve sa grande affinité pour l'oxigène. Si l'on ne parvient pas à l'expulser complétement dans les procédés ordinaires, lorsqu'il existe en fortes proportions dans les fontes d'affinage, cela tient, comme nous

l'avons déjà dit, à ce qu'il n'est pas doué d'une mobilité atomique suffisante quand le métal qui le contient est solidifié ; c'est toujours le cas vers la fin des opérations ; il se pourrait donc bien, la fluidité persistant jusqu'à la fin, que le silicium se montrât plus disposé à disparaitre ; c'est ce que l'expérience et l'analyse chimique nous apprendront plus sûrement que tous les raisonnements.

Mais une difficulté plus sérieuse se présentera pour l'acier, dès qu'il s'agira d'une production manufacturière. Le classement de ce produit ne se fait pas seulement à raison des différences de qualités propres à la matière, mais encore sous le rapport des divers degrés de dureté réclamés par les emplois industriels. Or si l'on réfléchit que le maximum de saturation en carbone correspondant aux aciers les plus vifs excède à peine 2 p. 0/0 ; que les aciers les plus doux en retiennent au moins 0,5 ; qu'entre ces deux limites extrêmes les besoins de l'industrie exigent quatre ou cinq degrés intermédiaires, on concevra combien sera délicate la question de classement ou d'appropriation des produits très-variés, que l'opération Bessemer pourra indistinctement donner. Les méthodes actuelles laissent déjà beaucoup à désirer sous ce rapport, mais, si la cémentation est inégale, on la corrige facilement par le corroyage ou par la fusion en creusets ; la fusion directe du fer avec addition de charbon donne encore plus sûrement des produits égaux, parce qu'on peut doser exactement les charges des composants. Il est donc possible de fabriquer à la demande un acier déterminé.

Dans la méthode Bessemer, il y a, pour ainsi-dire, impossibilité absolue d'obtenir à coup sûr ce qu'on voudrait, car le point de départ est une fonte qui n'est point homogène, dont on ne peut connaître rigoureusement d'avance la composition, un air qui selon toutes probabilités ne pourra jamais être intégralement brûlé. On ne doit donc point espérer obtenir des produits réguliers. On pourra, il est vrai, les classer après le coulage des lingots, par

l'examen de la cassure, mais les proportions entre les divers degrés de dureté seront plus ou moins livrées au hasard ; il pourra arriver qu'ils ne concorderont pas avec les besoins de la consommation du moment. On pourra y remédier sans nul doute par une deuxième fusion ou par des corroyages, comme cela se pratique pour les aciers naturels ou cémentés; mais où sera l'économie si, surtout en raison du silicium qu'ils risquent de retenir, ils ne peuvent être classés comme produits supérieurs? C'est là certainement l'objection la plus grave de toutes celles qu'on peut faire au système: la difficulté de fabriquer à un moment donné, en masses plus ou moins considérables, une qualité fortement demandée, sans s'exposer à de nombreux rebuts.

Il va sans dire, au reste, que nos objections, tant en ce qui concerne le silicium qu'en ce qui concerne la difficulté de régler la fabrication, ne regardent que les aciers supérieurs, dont la consommation est relativement minime, et que, dans le plus grand nombre des cas, des aciers légèrement siliceux et inégaux trouveront, en raison de leur bas prix, des applications utiles et nombreuses.

En dehors ou à part les difficultés pratiques et les inconvénients que toute nouvelle méthode à peine éclose présente presque toujours, et que le temps seul peut résoudre, on peut déjà entrevoir les immenses résultats que le procédé Bessemer est appelé à produire. La préparation d'un métal pur et homogène, tel que la condition de fluidité peut seule le donner, la possibilité de couler ce métal en masses de toutes formes et dimensions, sont déjà, au point de vue du progrès, des avantages considérables. Ce sont des résultats tout nouveaux pour le fer, et au moins économiques pour l'acier. Jusqu'à présent les fers de gros échantillon, les grosses pièces de forge, n'ont pu être obtenus de toute pièce, et l'on sait combien la manipulation de gros paquets offre peu de sécurité. La préparation des rails, la fabrication des tôles, ainsi

qu'une infinité d'autres branches de l'industrie des forges, participent de cet inconvénient, qui coûte si cher à l'industrie générale par suite des mécomptes et accidents auxquels il donne lieu. A ce point de vue, le mérite du procédé Bessemer est facile à apprécier, et, bien même qu'on n'admettrait pas toutes les fontes au bénéfice de l'emploi, le résultat serait déjà d'une importance majeure. Mais en dehors de cet avantage, il en est un autre plus important peut-être sur lequel on n'a pas suffisamment insisté; les grosses pièces de forge qui ont exigé pour leur confection des paquets d'un grand volume présentent presque toujours à l'intérieur une cristallisation grossière qui diminue considérablement les conditions de résistance. Cela est dû à la nécessité où l'on se trouve d'abandonner pendant longtemps à l'action de la chaleur les grosses masses, pour permettre au calorique d'y pénétrer jusqu'au cœur. On remédie plus ou moins sans doute à cet inconvénient par le secours d'engins puissants, mais il y a des limites qu'on ne peut toujours atteindre. Le procédé Bessemer, en permettant de couler en moule lèvera, sous ce rapport bien des difficultés; et, si l'on sait avec cela profiter avec intelligence des avantages de la trempe, on obtiendra ce résultat nouveau, de mouler le fer fibreux, c'est-à-dire qu'on substituera dans un grand nombre de cas, comme cela se pratique du reste pour la plupart des autres métaux, le coulage en moules au travail si dispendieux de la forge et des marteaux.

On sait, en effet, que tout métal pur et que le fer en particulier coulé en coquille reste doux et fibreux, s'il a pu éprouver un refroidissement assez rapide pour ne pas avoir le temps de cristalliser. Il y a là une propriété dont les arts tireront un parti immense, et que le procédé Bessemer peut seul rendre praticable si, comme nous l'espérons, on parvient à élever suffisamment la température du métal, pour pouvoir l'amener, par le moulage, au moins à une forme approchant de celle qu'il doit définitivement recevoir.

NOTE

Concernant des expériences sur les effets comparatifs des échappements fixes et des échappements variables dans les locomotives.

PAR M. CHOBRZYNSKI

Pendant les premières années de l'exploitation des chemins de fer français, on ne disposait, pour l'alimentation des locomotives, que d'un coke de mauvaise qualité et contenant 12 à 18 p. 0/0 de cendres.

Pour assurer le service avec un pareil combustible, il a fallu munir toutes les machines d'échappements variables pour la sortie de vapeur, afin de pouvoir appeler plus ou moins d'air dans le foyer suivant les besoins de la production de vapeur et la qualité variable du coke.

L'application d'appareils de ce genre, à section variable, a été généralisée sur tous les chemins français, tandis qu'en Angleterre, où le combustible est de meilleure qualité, on persistait à maintenir pour la sortie de la vapeur une section fixe, de dimensions déterminées par la pratique.

L'échappement variable, dit à *valves*, présente plusieurs inconvénients qu'il serait utile d'éviter, surtout depuis que la qualité du coke a été améliorée par des lavages préalables de la houille employée, et que les machines à marchandises consomment du charbon et des briquettes d'une qualité qui laisse peu à désirer.

Les principaux inconvénients des valves sont les suivants :

1° Elles donnent au jet de vapeur une forme qui n'est pas symétrique à celle de la cheminée.

L'énergie de la transmission latérale du mouvement à la fumée doit en souffrir au détriment de la puissance de vaporisation.

Ce jet, au moindre dérangement d'une des valves, se trouve hors du centre de la cheminée et produit une réduction sensible du tirage.

2° Malgré l'ajustage le plus soigné, une certaine quantité de vapeur passe entre les valves et les côtés fixes, et vient affaiblir l'énergie de l'appel d'air dans la cheminée.

3° Les valves prennent du jeu sur leurs axes mobiles, et cassent quelquefois.

Au chemin de fer du Nord, il y a eu en 1859 quatre arrêts de trains pour des ruptures de ce genre.

4° Toutes les fois que les deux tuyaux d'échappement sont réunis en haut de la boîte à fumée, l'appareil à valves obstrue le bas de la cheminée, en diminuant ainsi la section de passage d'air.

Cet inconvénient est des plus graves. Plusieurs machines à cylindres extérieurs ne produisent que difficilement la vapeur dont elles ont besoin, par suite du rétrécissement de la section au bas de la cheminée.

5° L'échappement à valves rend les mécaniciens peu soigneux dans la conduite du feu. Ils comptent trop sur l'efficacité des moyens mis à leur disposition, et sont portés à négliger l'alimentation et l'entretien du feu.

Les machines du chemin de fer du Nord, dont la production de vapeur est quelquefois insuffisante, par suite des défauts dus à la réunion des deux tuyaux de sortie à la culotte d'échappement variable, tout à fait en haut de la boîte à fumée, et à la base même de la cheminée, sont :

60	machines Crampton.		
61	id.	Bielles à fourches, voyageurs.	
64	id.	id.	id. , marchandises.
34	id.	Clapeyron, voyageurs.	
34	id.	Buddicom.	

Total. . . . . 253 machines.

Il y avait donc un certain intérêt à étudier si la puissance de vaporisation de ces machines ne se trouverait pas augmentée par la substitution, aux anciens appareils à valves, de tuyaux d'échappement à section fixe.

Dans ce but, deux machines Crampton, nos 168 et 169 du dernier lot, ont reçu des tuyaux fixes de 0,115 de diamètre à la sortie, la section d'écoulement de la vapeur étant abaissée de 0m,275 par rapport à l'ancienne position. On en a obtenu une production de vapeur supérieure aux besoins du travail de ces deux machines, et le diamètre de 0,115 a été successivement augmenté jusqu'à 0,130.

Afin de nous rendre compte des conditions de travail de ces machines, comparativement à celles des autres du même lot, munies d'échappements ordinaires à valves, nous les avons soumises à une série d'expériences manométriques, et voici les tableaux des observations faites pendant plusieurs voyages.

MACHINES N° 168 ET 169 A ÉCHAPPEMENT FIXE (*fig.* 2).

DATES	Numéros des trains	Nombre de wagons	DÉSIGNATION kilométrique	Vitesse	Pression dans la chaudière	Diamètre de sortie	Contrepress. en m/m de mercure échappement		Dépression en m/m d'eau dans la boîte à fumée		Dépression en m/m d'eau dans la boîte à feu		OBSERVATIONS
							Moyenne	Maximum	Moyenne	Maximum	Moyenne	Maximum	
Machine 168, échappement fixe													
8 mai	26	14	138 à 129	54	7	0.118	57	80	48	70	26	35	Rampe de 2 à 4 m/m
Id.	»	»	127 à 113	56.2	7.2	Id.	89	130	84	130	41	65	Id.
Id.	»	»	109 à 103	52.2	6.7	Id.	72	80	87	95	55	60	Id.
Id.	»	»	48 à 28	49	6.6	Id.	74	98	86	110	52	80	Rampe de 5 m/m.
13 mai	spé.	15	9 à 26	54.3	6.6	0.118	113	150	115	155	62	80	Id.
26 mai	5	7	8 à 28	75	7	0.122	75	105	75	100	41	65	Id.
Id.	»	»	73 à 103	74.5	7	Id.	57	75	58	70	30	43	Rampe de 5 à 2 m/m.
Id.	26	13	138 à 129	58	6.5	Id.	71	105	75	100	47	60	
Id.	»	»	127 à 113	56	6.2	Id.	95	135	95	120	55	70	
Id.	»	»	48 à 28	49	6.2	Id.	82	140	114	185	65	145	
16 juin	13	7	7 à 28	67	7.25	0.122	58	62	60	85	37	45	Temps orag. vent viol. S. O.
Id.	»	»	70 à 99	78	7.1	Id.	55	70	58	65	34	40	Id.
Id.	»	»	102 à 123	82	7.25	Id.	60	70	55	62	29	40	Id.
Id.	32	11	143 à 115	66	6.5	Id.	39	55	37	60	23	30	Id.
Id.	»	»	48 à 28	52	7.25	Id.	66	110	81	110	44	85	La mach. manquait d'adh. sur la rampe de Chantilly par suite d'un orag. tr.-f.
28 juin	32	10	144 à 103	79	7.25	0.130	43	60	52	60	32	40	
Id.	»	»	98 à 70	78	7	Id.	44	60	54	65	34	45	
Id.	»	»	48 à 28	65	7	Id.	63	90	80	110	43	65	Rampe de 5 m/m.
Machine 169													
5 mai	13	6	7 à 27	67	7. 2	0.125	45	60	43	65	28	40	Vent S. E. rampe de 5 m/m.
Id.	»	»	70 à 98	79	6. 4	Id.	41	55	33	45	21	30	Id. de 2 m/m.
Id.	»	»	102 à 123	76	6. 7	Id.	40	50	33	40	17	25	
Id.	32	9	146 à 103	77	6. 2	Id.	46	60	36	55	28	40	Id.
Id.	»	»	98 à 70	73	6. 5	Id.	45	80	45	75	38	50	Id.
Id.	»	»	48 à 23	70	7	Id.	90	140	96	135	61	80	Rampe de 5 m/m.
9 juin	13	6	7 à 27	68	6.75	Id.	35	45	58	65	22	28	Id.
9 juin	13	6	70 à 99	72	7	0.125	47	80	46	80	32	45	
Id.	»	»	102 à 123	78	7	Id.	52	70	53	65	30	35	Id.
Id.	32	9	48 à 28	70	7	Id.	98	160	107	155	60	70	
26 juin	32	9	145 à 102	76	6. 6	0.130	40	60	47	65	31	45	Id.
Id.	»	»	98 à 71	76	6. 5	Id.	41	45	53	60	39	45	
Id.	»	»	48 à 28	62	7	Id.	42	60	61	75	42	45	Id.
10 juil.	32	10	145 à 104	76	6. 5	Id.	38	50	33	45	17	22	
Id.	»	»	48 à 28	62	7. 1	Id.	55	90	60	90	30	42	Id.

MACHINE N° 167 A ECHAPPEMENT VARIABLE A VALVES. (*fig.* 1)

DATES	Numéros des trains	Nombre de wagons	DÉSIGNATION kilométrique	Vitesse	Pression dans la chaudière	Diamètre de sortie	Contrepression en m/m de mercure échappement		Dépression en m/m d'eau dans la boîte à fumée		Dépression en m/m d'eau dans la boîte à feu		OBSERVATIONS
							Moyenne	Maximum	Moyenne	Maximum	Moyenne	Maximum	
10 mai	26	15	48 à 28	48	6. 3	Valv.	141	225	104	150	50	85	Beau temps.
16 mai	5	7	4 à 28	61.5	6	Id.	44	95	34	65	29	45	Vent faible S. O.
Id.	5	7	70 à 80	63	6. 7	Id.	53	90	51	80	43	50	Id.
Id.	5	7	84 à 102	66.5	6. 7	Id.	30	35	27	35	25	30	Id.
16 mai	26	14	138 à 130	51.5	6. 5	Id.	53	195	37	97	27	52	Id.
Id.	26	14	127 à 113	47	6. 5	Id.	43	90	36	70	30	50	Id.
Id.	26	14	48 à 28	56	6. 3	Id.	132	210	108	160	59	100	Id.
19 juin	32	11	48 à 28	62	6. 2	Id.	117	200	105	150	53	61	
7 juil.	13	7	8 à 27	56	6. 2	Id.	70	115	55	115	35	60	Vent N. E.
Id.	13	7	70 à 99	75	6. 5	Id.	58	70	35	45	21	30	Id.
Id.	13	7	103 à 122	75	6. 2	Id.	56	60	35	40	20	28	Id.
Id.	32	10	146 à 102	73	6. 3	Id.	40	65	27	45	18	30	Beau temps.
Id.	32	10	48 à 28	69	6. 2	Id.	82	100	63	70	38	45	

Pour savoir si la supériorité de vaporisation des machines n^{os} 168 et 169 ne tenait pas uniquement à l'abaissement des tuyaux de sortie, nous avons placé à la machine n° 165 du même lot un échappement à valves abaissé le plus possible, soit à 0,380 au-dessous de son ancienne position.

Les résultats des expériences manométriques sont comme les suivants :

LOCOMOTIVE N° 165 (ECHAPPEMENT A VALVES ABAISSÉ.) (*fig.* 5)

DATES	Numéros des trains.	Nombre de wagons	DÉSIGNATION kilométrique	Vitesse	Pression dans la chaudière	Diamètre de sortie	Contrepress. en m/m de mercure à l'échappement — Moyenne	Contrepress. en m/m de mercure à l'échappement — Maximum	Dépression en m/m d'eau dans la boîte à fumée — Moyenne	Dépression en m/m d'eau dans la boîte à fumée — Maximum	Dépression en m/m d'eau dans la boîte à feu — Moyenne	Dépression en m/m d'eau dans la boîte à feu — Maximum	OBSERVATIONS
7 juin	13	7	7 à 27	80	6.5	Valv.	70	100	90	110	70	75	Rampe de 5m/m.
Id.	»	»	69 à 99	79	6.5	Id.	30	50	40	50	32	45	Id. 0 à 2m/m.
Id.	»	»	102 à 123	80	6.5	Id.	37	70	44	70	31	50	Id.
Id.	»	»	126 à 138	78	6.5	Id.	57	175	47	125	33	70	Id.
Id.	32	10	146 à 103	80	6.5	Id.	34	60	32	70	26	50	Id.
Id.	»	»	98 à 70	71	6.25	Id.	48	150	44	130	37	92	Id.
Id.	»	»	48 à 28	74	6.25	Id.	154	260	140	180	75	90	Rampe de 5m/m.
13 Id.	32	9	48 à 28	62	5.75	Id.	100	215	98	160	55	70	Id.
11 juil.	32	9	48 à 28	61	6.6	Id.	91	160	91	140	62	105	Id.

Résumé du travail des machines au train 32, entre Creil et le poteau kilométrique n° 28, rampe de 5 m/m, depuis que les échappements fixes ont été portés à 130 m/m de diamètre.

Machine 167 à valves ordinaires. (*fig.* 1)

19 juin	32	11	48 à 28	62	6.2	Valv.	117	200	105	150	53	61	Rampe de 5m/m.
7 juil.	32	10	48 à 28	69	6.2	Id.	82	100	63	70	38	45	

Machine 165 à valves abaissées de 0.386. (*fig.* 5)

7 juin	32	10	48 à 28	74	6.25	Valv.	154	260	140	180	75	90
13 id.	»	9	48 à 28	62	5.75	Id.	100	215	98	160	55	70
11 juil.	»	9	48 à 28	61	6.60	Id.	91	160	91	140	62	105
Moyenne	»	9.8	»	65.6	6.2	»	108	187	99	140	56	74

Machine 168 à échappement fixe. (*fig.* 2)

28 juin	32	10	48 à 28	6	7	130	63	90	80	110	43	65

Machine 169 à échappement fixe. (*fig.* 2)

26 juin	32	9	48 à 28	62	7	150	42	60	61	75	42	45
10 juil.	»	10	48 à 28	62	7.1	130	55	90	60	90	30	42
Moyenne	»	9.6	»	63	7	130	53	80	67	92	38	51

En résumé, les machines à échappements fixes ont des contre-pressions plus faibles derrière le piston et une production de vapeur plus grande que les machines à échappements à valves.

Les expériences suivies pendant deux mois ont donné constamment des indications précises sur l'énergie de la vaporisation.

Une seule précaution sera indispensable dans la conduite de ces machines, c'est le bon état du feu au moment du départ. On l'obtient par le chargement du combustible dans le foyer avant d'arriver aux gares où l'on doit stationner quelques instants.

Généralement la production de vapeur est trop considérable, et la construction de toutes nos machines à foyer très-bas ne nous permet pas de régler le tirage par la fermeture du cendrier.

L'emploi fréquent de charbon ou de briquettes sur tous les chemins français rendra impossible l'usage de ces cendriers, ainsi que celui des persiennes contre les tubes dans la boîte à fumée, à moins de distiller ces combustibles en pure perte. Pour éviter l'ouverture des portes au moment où un excès de production se manifeste, il suffit de placer sur la boîte à fumée de larges registres manœuvrés par des tringles, au moyen desquels on pourra à volonté augmenter ou diminuer le tirage, sans altérer les conditions d'une bonne et utile combustion.

La consommation des machines n^{os} 168 et 169 a été depuis le 1er juin jusqu'au 1er novembre 1860 :

Parcours, 54,251 kilomètres.— *Consommation*, 386,550 kil., soit : 7 kil. 1 par kilomètre.

Toutes les autres machines du même système, et faisant le même service au dépôt de La Chapelle, ont parcouru pendant le même temps 322,227 kilom., en consommant 2,404,130 kilos, soit : 7 k. 5 par kilomètre.

La machine n° 165, avec échappement à valves abaissé, a fait 23,892 kilomètres, en consommant 205,600 kilos, soit : 8 k. 5 par kilomètre.

La machine de voyageurs, système Stephenson, n° **118**, avec **71** m. de surface de chauffe, ayant reçu dans le mois de juillet dernier un échappement fixe de **0,115** de diamètre à la sortie, sa production de vapeur s'en est trouvée améliorée dans une proportion encore plus sensible que dans les machines Crampton. Soumise aux expériences directes, les manomètres ont donné les indications suivantes :

Machine N° 118 à échappement fixe (fig. 6).

DATES	N° des trains	Nombre de wagons	Désignation kilométrique	Vitesse	Pression dans la chaudière	Diamètre de sortie	Contrepression en m/m de mercure échappement — Moyenne	Contrepression en m/m de mercure échappement — Maximum	Dépression en m/m d'eau dans la boîte à fumée — Moyenne	Dépression en m/m d'eau dans la boîte à fumée — Maximum	OBSERVATIONS
24 juil.	58	14	28 à 21	42	6.8	40	47	60	55	60	Rampe de 3m/m5.
Id.	66	14	Id.	37	7.1	»	37	60	45	70	
Id.	78	14	Id.	45	6.9	»	44	78	52	58	
4 août	58	14	28 à 21	42	7.4	113	34	55	32	40	
Id.	66	13	Id.	41	6.9	»	32	50	36	40	
5 août	62	20	28 à 21	41	7.2	113	57	80	62	85	
Moyenne	»	15	»	41.6	7.05	»	41.8	64	46	59	

Une autre machine, n° **88**, du même système et de la même fabrication, avec l'échappement à valves, a donné des indications portées au tableau suivant :

Machine N° 88 à échappement à valves (fig. 7).

26 juil.	58	14	28 à 21	42	6.4	Valv.	54	70	46	65	
Id.	66	14	Id.	44	6.2		43	70	50	65	
Id.	78	14	Id.	45	5.9		57	100	58	90	
29 juil.	58	16	Id.	40	6.4		50	85	58	80	
Id.	66	20	Id.	40	5.9		70	90	67	80	
Moyenne	»	15.6	»	42	6.1	»	55	83	55	76	

Une troisième machine de ce même système, n° 115, rendue mixte, et dont l'échappement à valves avait été abaissé de 0,25 sur la position primitive, a donné les résultats suivants :

Machine N° 115 à échappement abaissé à valves (fig. 5).

DATES	N°s des trains	Nombre de wagons	Désignation kilométrique	Vitesse	Pression dans la chaudière	Diamètre de sortie	Contrepression en m/m de mercure, échappement		Dépression en m/m d'eau dans la boîte à fumée		OBSERVATIONS
							Moyenne	Maximum	Moyenne	Maximum	
25 août	66	14	28 à 21	38	6. 3	Valv.	36	115	80	120	
Id.	78	15	Id.	38	6. 3		34	80	74	100	
19 Id.	62	19	Id.	37	6. 6		45	115	91	120	
26 Id.	72	19	Id.	38	6. 3		41	95	101	120	
2 sep.	62	20	Id.	41	6. 4		64	135	100	140	
Moyenne	»	17.5	»	38.4	6. 4	»	44	108	89	120	

La machine n° 118 a fait du 1er août au 30 octobre 13,533 kilomètres, en consommant 91,270 kilos de combustible, soit : 6 k. 7 par kilomètre.

La machine n° 88 a fait en même temps 14,053 kilomètres, en consommant 98,300 kilos de combustible, soit : 7 kilos par kilomètre.

La machine n° 115 a fait 8,398 kilomètres, en consommant 73,401 kilos de combustible, soit : 8 k. 7. Toutes les machines de ce système attachées au dépôt de La Chapelle ont parcouru pendant le même temps 78,082 kilomètres, en consommant 581,090 kilos de combustible, soit : 7 k. 4 par kilomètre.

Il y a donc une économie sensible dans le service de la machine n° 118, et une grande facilité de la marche par suite de la

pression maintenue constamment au maximum des soupapes réglées à 7 atmosphères.

La production de vapeur est sensiblement augmentée dans la machine n° 115, par l'abaissement du tuyau de sortie, la section du passage d'air au bas de la cheminée se trouvant dégagée et agrandie.

La combustion n'est cependant pas aussi énergique pour les mêmes contrepressions que dans la machine n° 118, et il reste en outre les inconvénients des valves dont nous avons parlé.

M. Beugniot, ingénieur des ateliers de construction de M. A. Kœchlin, à Mulhouse, a déjà, depuis quelques années, abaissé ces tuyaux à toutes les machines fournies au chemin de fer de l'Est et de la Méditerranée. Il en a obtenu une amélioration considérable dans l'énergie de la combustion.

Au chemin de fer de la Méditerranée, on a voulu éviter les inconvénients de l'emploi des valves, en adoptant un système d'échappement d'une disposition particulière, représenté sur la figure n° 4.

Ce système doit produire des effets énergiques sur la combustion ; mais il est difficile et souvent impossible à appliquer à toutes les machines existantes.

Il présente quelques complications dans les transmissions de mouvement aux soupapes qui font varier les sections de passage de vapeur.

Nous n'hésitons pas à dire que, partout où la qualité de combustible peut être uniforme, un tuyau d'échappement à section fixe, convenablement déterminée, produira un tirage tout à fait suffisant pour un maximum de production de vapeur avec le minimum de contrepression. C'est ce que les Anglais ont [illegible]

Notice nécrologique sur M. LOCKE

PAR

M. Eugène Flachat

La Société des Ingénieurs civils doit une notice nécrologique à la mémoire de M. Locke. Cet Ingénieur tenait, après Brunel et Robert Stephenson, le premier rang pour l'importance des entreprises qu'il avait exécutées. Elève de Georges Stephenson, et sorti comme lui des travaux des mines de Newcastle, il s'en sépara au commencement de la construction du chemin de Liverpool à Birmingham (grande jonction) qui fut le premier ouvrage exécuté par lui comme ingénieur en chef. Il avait fortement contribué à faire préférer la machine locomotive aux autres procédés de traction. Sa confiance à cet égard l'a mis à même de réaliser des économies dans la construction de certaines lignes de chemin de fer, parce qu'il ne reculait pas devant les inclinaisons plus fortes que celles qui, dès l'origine, furent considérées comme indispensables au bon fonctionnement des machines locomotives.

Son principe de conduite était de proportionner autant que possible la dépense d'exécution au produit à en attendre et il n'hésita pas dans le cours de sa carrière à sacrifier à ce point de vue les occasions de fonder sa réputation sur l'exécution des grands ouvrages qui ont ajouté à la mémoire de Brunel et de Robert Stephenson un si vif éclat.

Les lignes construites par Locke portent l'empreinte d'une grande sévérité de goût, nous pourrions presque dire d'une extrême monotonie. Les règles de l'art y sont observées. Ses via-

ducs de 15ᵐ d'ouverture sont hardis et d'un beau dessin. Il aimait les fruits courbes que, par suite de la facilité d'emploi qu'offre la brique, les Ingénieurs anglais ont généralement adoptés. Il les a surtout appliqués aux murs en aile des ponceaux qu'il a disposés en quart de cône renversé.

Il est incontestable que les types anglais importés en France par Locke, pour les travaux d'art, ont eu une influence favorable sur les dessins et les méthodes de construction françaises. L'emploi de la pierre de taille est devenu moins général; la main-d'œuvre de maçonnerie est devenue plus habile par l'usage de matériaux de petit échantillon. Ajoutons cependant que l'Angleterre est redevable à la France des progrès qu'elle a faits dans la qualité des mortiers qu'exige cette maçonnerie.

Locke a exécuté, en France, les chemins de fer de Paris à Rouen, au Havre, à Dieppe et à Cherbourg. Les travaux de construction furent confiés à des entrepreneurs habiles et expérimentés, MM. Makensie et Brassey; et la construction du matériel, à M. Buddicom.

Le personnel qui accompagnait ces entreprenours était composé d'hommes d'élite qui se sont fait avantageusement connaître dans l'industrie des chemins de fer. M. Brassey est aujourd'hui à la tête des entreprises les plus considérables, et les ateliers de M. Buddicom on acquis un des meilleurs rangs par la bonne qualité de leurs produits.

Ce qui était le plus remarquable dans la première conception du chemin de Rouen, c'est la relation que l'Ingénieur avait établie entre la voie et le matériel. Il n'est pas douteux que, devant l'importance du trafic actuel, l'usage d'un matériel léger, d'une voie à traverses espacées et de ponts en bois, présenterait des condition insuffisantes pour entrer en concurrence avec la navigation de la Seine, améliorée comme elle l'est aujourd'hui : mais il est également certain qu'à l'origine le système adopté par Locke a pré-

servé la Compagnie des écoles, des tâtonnements et des labeurs d'un commencement difficile. En important de toutes pièces les procédés et l'expérience des Anglais, il a dégagé l'entreprise des incertitudes et des hésitations qu'elle aurait eues à subir.

Quelques épreuves attendaient l'Ingénieur étranger pendant la construction du chemin de fer du Havre. La chûte du viaduc de Barentin lui fut attribuée, et les défiances les plus générales se répandirent sur les travaux d'art de cette ligne, qui, ainsi qu'on le sait, en présente un très-grand nombre et de très-importants. Une enquête eut lieu, et les résultats en furent complétement favorables. La chûte du viaduc de Barentin était due à la nature des matériaux employés dans les socles de quelques-unes des piles, et à la qualité du mortier, dont l'humidité, provenant d'un cours d'eau voisin, avait arrêté le durcissement.

Mais, avant que ces causes fussent bien déterminées, la construction en elle-même était incriminée au point de vue de la résistance des matériaux, et de la disposition de l'ouvrage en courbe.

Un projet d'arches en bois sur piles en maçonnerie fut alors proposé à la Compagnie. Sous l'influence de ces craintes, M. Laffitte, président du Conseil d'administration, me fit l'honneur de me consulter sur le choix du projet. Je l'engageai vivement à faire rétablir le viaduc exactement dans les formes primitives, car il était irréprochable au point de vue des règles de l'art ; le dessin en faisait à la fois un très-bel ouvrage et une solution économique de la traversée de la vallée.

Le conseil fut suivi, et m'a valu dès-lors l'amitié de Locke. Le projet de reconstruction accepté par l'administration en sortit cependant avec quelques modifications, qui, sans rien ajouter à sa stabilité, lui ont enlevé son élégance primitive. Les fruits courbes furent remplacés par des fruits droits qui se brisent à la ligne des naissances des arches, et font un effet disgracieux.

Lors de l'inauguration du chemin de fer du Havre, Locke,

répondant aux toasts qui lui avaient été portés, rappela avec beaucoup d'émotion et une grande noblesse de sentiments les défiances que la chûte du viaduc de Barentin avaient suscitées contre ses ouvrages.

« La stabilité de ses travaux ferait, disait-il, justice de toutes les préventions. A titre d'Anglais, ajouta-t-il, et d'Ingénieur attaché à la France par des affections autant que par les travaux qu'il y avait exécutés, il n'avait qu'un désir à exprimer, c'est que l'alliance des deux nations fût égale en durée à la stabilité des ouvrages de la ligne du Havre ; il avait la confiance que, s'il en était ainsi, le souvenir même des défiances qui lui avaient été manifestées s'effacerait comme celui des préventions politiques qui séparent encore les deux pays. »

Cette réponse fut très-chaleureusement accueillie.

Ce qu'avait prévu Locke s'est réalisé, et les travaux exécutés par cet ingénieur ont pris, dans l'art de la construction, le rang qui leur appartenait.

Ce n'est pas ici le lieu de parler des importantes entreprises que Locke a dirigées en Angleterre. La notice nécrologique qui a été lue à la Société des Ingénieurs civils d'Angleterre, dont il était le Président lors de son décès, énumère les services que, sous ce rapport, il a rendus à son pays.

Il est mort jeune, comme Brunel et Stephenson. Il s'était créé comme eux, parmi ses collègues et ses camarades, de très-vives et très-anciennes affections. Sa mort a laissé des regrets unanimes.

CATALOGUE

DES OUVRAGES COMPOSANT LA BIBLIOTHÈQUE

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

AGRICULTURE et GÉOLOGIE

Affaissement du sol et envasement des fleuves, survenus dans les temps historiques, par M. de Laveleye.
Agriculture allemande, ses écoles, son organisation, ses mœurs et ses pratiques les plus récentes, par M. Royer.
Agriculture française, départements de l'Isère, du Nord, des Hautes-Pyrénées, du Tarn, des Côtes-du-Nord, de la Haute-Garonne, de l'Aube, par les inspecteurs de l'agriculture.
Agriculture (Cours de M. Gasparin).
Bulletins de la Société impériale et centrale d'agriculture.
Drainage des terrains en culture, par M. Le Grand.
Etudes géologiques sur le département de la Nièvre, par M. Ebray.
Etudes géologiques sur le Jura Neuchâtelois, par MM. Désor et Gressly.
Etude paléontologique sur le département de la Nièvre, par M. Ebray.
Guide du draineur, par M. Faure.
Géologie du Pérou, par M. Crosnier.
Géologie du Chili, par M. Crosnier.
Irrigations. Rapport de M. Le Chatelier sur un mémoire de MM. Thomas et Laurens.
Maison rustique, par MM. Ysabeau et Bixio.
Maladie de la vigne (Rapport sur la), par M. Marès.
Note sur le progrès agricole, par M. Ernest Pépin-Lehalleur.
Note sur les puits artésiens du Sahara oriental, par M. Ch. Laurent.
Programme pour le Cours de génie rural, par M. Faure.
Programme pour le Cours de génie rural, par M. Trélat.
Rapport sur les eaux de la ville de Liége, par M. G. Dumont, ingénieur des mines.
Recherches sur les eaux employées dans les irrigations, par MM. Salvetat et Chevandier.
Traité complet de l'élève du cheval en Bretagne, par M. Ephrem Houel.

CHEMINS DE FER

Accidents, moyens pour les prévenir, notes sur le journal *Le Brevet d'invention*, par M. Jules Gaudry.
Accidents sur les chemins de fer, par M. Emile With.
Accidents sur les chemins de fer, par M. Pacquerie.
Album des chemins de fer, par M. Cornet.
Album des chemins de fer, par M. Jacquin.
Améliorations à introduire dans l'exploitation des chemins de fer, par M. Bordon.
Annuaire des chemins de fer, par M. Petit de Coupray.
Appareils électriques destinés à assurer la sécurité sur les chemins de fer, par M. Marquefoy.
Appareil dit *avertisseur*, ou signal d'arrêt des trains, par M. Grivel.
Assainissement et consolidation des talus, par M. Bruère.
Bâtiments de chemins de fer, par M. Chabat.
Cahier des charges de la Compagnie du chemin de fer du Midi, remis par MM. Bellier et Bommard.
Changement et croisement de voie, par M. Thouvenot.
Chemins de fer d'Angleterre en 1851. Matériel fixe, matériel roulant, exploitation et administration, législation et statistique, par M. Le Chatelier.
Chemin de fer de Gray à Verdun, par M. Henri Fournel.
Chariot roulant sans fosse pour la manœuvre des wagons et machines locomotives dans les gares de chemin de fer, par M. Sambuc.
Chemin de fer hydraulique. Distribution d'eau et irrigations, par M. L.-D. Girard.
Chemin de fer de Constantinople à Bassora, par MM. Emile et Alexis Barrault.
Chemin de fer occidental de Mons, Jemmapes et Saint-Ghislain, à Nieuport, par MM. Guibal et Baulleux.
Chemins de fer français, par M. Victor Bois.
Chemin de fer du Havre à Marseille par la vallée de la Marne, par M. Henri Fournel.
Chemins de fer suisses (Rapport sur les).
Chemin de fer de Marseille au Rhône et à Avignon (Rapport de l'Assemblée générale du).
Chemin entre Vitry et Gray, par M. Brière de Mondétour.
Chemin de Metz à Sarrebruck (Projet), par MM. Flachat et Petiet.
Chemin de fer de Paris à Meaux, par MM. Mony, Flachat, Petiet et Tourneux.
Chemin de fer Victor-Emmanuel (Cahier des charges), par M. Capuccio.
Clepsydre à signaux (Note sur une), par M. Delacroix
Combustibles employés pour le service des chemins de fer, par M. de Fontenay.

Rapport sur le chemin de fer d'Anvers à Gand, par M. Prisse.
Rapport des Commissions sur l'application du fer dans la construction des chemins de fer, par M. Hodgkinson.
Rapport du conseil d'administration du chemin de fer Hainaut et Flandres.
Rapport sur les expériences faites par la Compagnie du Nord, pour l'amélioration des voies, par M. Brame, ingénieur des Ponts-et-Chaussées.
Rapports présentés par les administrations de chemins de fer aux assemblées générales.
Résistance dans le passage des courbes dans les chemins de fer, par M. Wissocq, ingénieur des mines.
Résistance des convois à l'action des moteurs, par M. Jousselin.
Solution de la question des chemins de fer, par M. Poujard'hieu.
Sur les chemins de fer de la Confédération germanique, par M. Emile With.
Télégraphie électrique, par M. Victor Bois.
Tracé des chemins de fer (Rapport fait à la Commission).
Traité élémentaire des chemins de fer, par M. Perdonnet.
Traversée des Alpes par un chemin de fer, par M. Eugène Flachat, nos I et II.
Voies ferrées économiques (Mémoire à l'appui de l'établissement des), par M. G. Love.

CHIMIE et PHYSIQUE.

Appareils de chauffage, par M. J.-B. Martin.
Appareils fumivores, par M. Marion Fauvel et Ce.
Assainissement de la savonnerie de MM. Arlot et Cie, par M. Félix Foucou.
Céramique (Leçons de), par M. Salvetat.
Chauffage et ventilation de la nouvelle Force, à Paris, par M. Ph. Grouvelle.
Chimie industrielle (Précis de) (texte et planches ensemble), par M. Payen.
Coloration et conservation des bois. Réponse au Rapport des experts, par M. Gardissal.
Combustion de la fumée et des gaz combustibles, par M. Petitpierre Pellion.
Conservation, incorruptibilité et incombustibilité des bois (Notice), par MM. J.-B. Perin et Meyer d'Uslar.
Conservation des bois, par M. Jousselin.
Conservation des bois, procédés de MM. Legé et Fleury-Perronnet.
De l'éclairage par le gaz hydrogène carboné, par M. Gaudry père.
Emploi du sucre pour préserver les chaudières à vapeur des incrustations salines, par M. Guinon.
Emaux colorés sur couches minces à la peinture ordinaire des panneaux de voitures de chemins de fer, par MM. Mercier et de Fontenay.
Etudes sur les corps à l'état sphéroïdal, par M. Boutigny, d'Evreux.
Explosion des machines à vapeur, par M. Andraud.
Fourneaux fumivores. Historique et état actuel de la question, par M. Wolski.

Fabrication du gaz à la houille et du gaz à l'eau, par M. Faure.
Four à coke à compartiments fermés, par M. Tériot.
Histoire et fabrication de la porcelaine chinoise, par M. Salvetat.
Mémoire sur la gélatine, par M. de Puymaurin.
Minium de fer.
Rapport sur les fabriques de produits chimiques en Belgique, remis par M. Mesdach.
Recherches sur la composition des matières employées dans la fabrication et la décoration de la porcelaine en Chine, par MM. Salvetat et Ebelmen.
Rapport sur les arts céramiques fait à la Commission française du jury international de l'Exposition de Londres, par MM. Ebelmen et Salvetat.
Rouges d'aniline (Mémoire sur les), par M. le docteur E. Jacquemin.
Rouges d'aniline, l'azaleine et la fuchsine (Mémoire sur les), par M. Maurice Engelhard.
Rouge d'aniline et la fuchsine (Examen comparatif sur le), par M. E. Kopp.
Silicatisation ou application des silicates alcalins solubles au durcissement des pierres poreuses, par M. Kuhlmann.
Traité élémentaire du calorique latent, par M. Jullien.
Traité pratique de la fabrication et de la distribution du gaz d'éclairage et de chauffage de M. Samuel Clegg. Traduit de l'anglais par M. Servier.

CONSTRUCTION et TRAVAUX PUBLICS.

NAVIGATION, VOIRIE.

Alimentation des eaux de Paris, par M. Edmond Roy.
Appareil de plongeur, le scaphandre, de M. Cabirol.
Application de la tôle à la construction des ponts du chemin de fer de ceinture, par M. Brame.
Arches de pont envisagées au point de vue de la plus grande stabilité, par M. Yvon-Villarceau.
Assainissement de Paris, par M. Beaudemoulin.
Bétons moulés et comprimés, par M. François Coignet.
Chemins de hâlage et berges des canaux d'Angleterre et d'Ecosse, par M. E. Vuigner.
Construction des tunnels de Saint-Cloud et de Montretout (Notice), par M. Tony Fontenay.
Construction des viaducs, ponts-aquéducs, ponts et ponceaux en maçonnerie, par M. Tony Fontenay.
Chemins vicinaux, par M. E. Volland.
Canal du Berri (Rapport sur le), par M. Petiet.
Canal de Suez. Question du tracé, par MM. Alexis et Emile Berrault.
Canalisation des fleuves et rivières, par M. Henri Filleau de Saint-Hilaire.
Chute des ponts (De la), par M. Minard.

Construction du Palais de l'Industrie, par MM. A. Barrault et Bridel.
Construction de la toiture d'un atelier, par M. Prisse.
Constructions économiques et hygiéniques, par M. Lagout.
Construction des ponts et viaducs en maçonnerie, par M. Edmond Roy.
Construction des formules de transport pour l'exécution des terrassements, par M. Dinan.
Description des appareils employés dans les phares, par M. Luccio del Valle.
Docks à Marseille (Projet), par M. Flachat.
Digues monolithes en béton aggloméré, par M. Coignet.
Eaux de Seine de Saint-Cloud amenées directement au château, par M. Armengaud aîné.
Egouts. Construction sous le rapport de la salubrité publique, par M. Versluys.
Embellissement de la ville de Bordeaux, par M. Léon Malo.
Emploi de la tôle, du fer forgé et de la fonte dans les ponts, par M. Cadiat.
Etudes sur les isthmes de Suez et de Panama, par M. F.-N. Mellet.
Examen de quelques questions de travaux publics, par M. Henri Fournel.
Habitations ouvrières et agricoles, par M. Emile Muller.
Inondations souterraines, par M. Vuigner.
L'Opéra et le Théâtre de la Seine, par M. Barthélemy.
Mémoire de la Chambre de commerce de Lorient. par M. Jullien.
Mémoire sur la force des matériaux, par M. Hodgkinson.
Matériaux de construction de l'Exposition universelle, par M. Delesse.
Moyen de réduire le nombre des naufrages le long des côtes.
Nivellements (Notice sur les), par M. Bourdaloue.
Nivellement (Notice sur le), par M. Petiet.
Notice sur la brouette, par M. Andraud.
Notice sur les eaux de Paris, par M. Ch. Laurent.
Notice sur les travaux et les dépenses du chemin de fer de l'Ouest, exécutés par l'Etat, par M. A. Martin.
Passerelles sur les grandes voies publiques de la ville de Paris, M. Herard.
Pavage et macadamisage (Rapport sur le), par M. Darcy.
Percement de l'isthme de Suez, par M. Ferdinand de Lesseps.
Percement de l'isthme de Panama par le canal de Nicaragua (Exposé de la question par MM. Félix Belly et Thomé de Gamond).
Percement de l'isthme de Suez, par M. Frédéric Coninck.
Ponts avec poutres tubulaires en tôle (Notice sur les), par M. L. Yvert.
Ponts suspendus, ponts en pierre, en bois, en métal, etc., par M. Boudsot.
Ponts biais en fonte de Villeneuve-Saint-Georges, par M. Jules Poirée.
Ponts métalliques (Traité théorique et pratique de la construction des), par MM. Molinos et Pronnier.
Ponts suspendus avec câbles en rubans de fer laminé, par MM. Flachat et Petiet.

Rapport sur les portes en fonte de fer établies au canal Saint-Denis, par M. Vuigner.
Rapport sur les ponts suspendus et sur la force et la meilleure forme des poutres de fer fondu, par M. Hodgkinson.
Rapport sur le pont de Cubzac, par M. Gayrard.
Rapport sur l'emploi, à la mer et sur terre, des bétons agglomérés à base de chaux, par M. Coignet.
Recueil de machines à draguer et appareils élévatoires, par M. Castor.
Tables de coefficients, par M. Lefrançois.
Théorie pratique et architecture de ponts, par M. Brunell.
Travaux hydrauliques de la France et de l'étranger, par M. Boocchieri.
Travaux hydrauliques maritimes, par MM. Latour et Gassend.
Tunnel sous-marin entre l'Angleterre et la France (avant-projet d'un), par M. Thomé de Gamond.

DIVERS.

OUVRAGES DÉPAREILLÉS.

Annuaire du consommateur d'acier, par M. Duhamel.
Appareils photographiques, par M. Charles Brooke.
Aide-mémoire des ingénieurs, par M. Richard.
Bibliothèque scientifique industrielle (De la nécessité de créer une), par M. Mathias.
Composition de l'appareil apicial de certains échinodernes et sur le genre protophite, par M. Ebray.
Conquête de l'Afrique par les Arabes, par M. Henri Fournel.
Construction et emploi du microscope, par M. Charles Chevalier.
Cosmographie (Précis élémentaire), par M. Vallier.
Cours de mathémathiques à l'usage des candidats à l'Ecole centrale des arts et manufactures, par M. de Comberousse.
Des voies navigables en Belgique, par M. l'inspecteur Vifquain.
Dictionnaire tecnologique français, anglais et allemand, par M. Gardissal.
Docks à Bordeaux, par M. Maldant.
Du cheval en France, par M. Charles de Boigne.
Ecoles d'arts et métiers d'Angers (Notice), par M. Guettier.
Encyclopédie biographique sur M. Hodgkinson.
Essai sur l'identité des agents qui produisent le son, la chaleur, la lumière, l'électricité, etc., par M. Love.
Etoiles doubles, par M. Yvon-Villarceau.
Excursion en Angleterre et en Ecosse, par M. Burel.
Exploration du Sahara et du continent africain, par M. Jules Gérard.
Exposition universelle. Une dernière annexe, par M. Andraud.
Formulaire de l'ingénieur, par M. Armengaud jeune.

Géométrie descriptive (Eléments), par M. Babinet.
Guide du photographe, par M. Charles Chevalier.
Guide-manuel de l'inventeur et du fabricant, par M. Armengaud jeune.
La Russie et ses chemins de fer, par M. Emile Barrault.
L'Ingénieur de poche, par MM. J. Armengaud et E. Barrault.
Lettre adressée à la Chambre de commerce, par M. Calla.
Ligne de télégraphe, par M. Vérard.
Manuel du conducteur et de l'agent voyer, par M. Vauthier.
Manuel aide-mémoire du constructeur de travaxx publics et de machines, par M. Emile With.
Marques de fabrique. Guide pratique du fabricant et du commerçant, par M. E. Barrault.
Matières textiles, par M. Alcan.
Méthodes photographiques, par M. Chevalier.
Note sur les fraudes dans la vente du sel, par M. Daguin.
Notice sur J. P. J. d'Arct.
Notice sur Philippe de Girard, par M. Benjamin Rampal.
Notice sur Saint-Nazaire.
Nouvelles inventions aux Expositions universelles, par M. Jobard.
Pierre asphaltique du Val-de-Travers, par M. Henri Fournel.
Projet d'un port de refuge dans la Seine, par M. Burel.
Première année au collége, par M. Gardissal.
Projet d'une ligne télégraphique continentale entre la France et les États-Unis, par l'Europe et l'Asie, par M. P. Jousselin.
Rapports sur le rouissage du lin, sur le drainage, sur l'exploitation de la tourbe et sur la fabrication des engrais artificiels et commerciaux, par M. Payen.
Rapport de M. Alcan sur la peigneuse mécanique de M. Josué Helmann.
Rapport du Jury international du 1855.
Rapport sur l'Exposition universelle de 1855, relatif aux exposants de la Seine-Inférieure, par M. Burel.
Registre des chevaux pur sang.
Règle à calcul (Notice sur l'emploi de la), par M. P. Guiraudet.
Revue provinciale, remis par M. Gayrard.
Suppression du canal Saint-Martin et de l'établissement des entrepôts libres, par M. Marie.
Sahara oriental au point de vue de l'établissement des puits artésiens dans l'Oued-Souf, l'Oued-Rit et les Zibans, par M. Ch. Laurent.
Taux légal de l'intérêt, par M. Félix Tourneux.
Thèse pour la licence, par M. Deville.
Technologiste (Journal).
Un exemplaire de la collection d'organes de machines donnés au cours de M. Lecouvre; 2° Deux années de vacances des élèves de deuxième et de troisième, par M. Robert.
Vade-Mecum administratif de l'entrepreneur des ponts et chaussées, par M. Endres.

MINES ET MÉTALLURGIE.

MECANIQUE.

OUVRAGES PERIODIQUES.

Album pratique d'ornements, par M. Oppermann.
Annales des Ponts-et-Chaussées.
Annales des mines.
Annales de la construction, par M. Oppermann.
Annales télégraphiques.
Annales des conducteurs des Ponts-et-Chaussées.
Annales forestières.
Annuaires de la Société des anciens élèves des Ecoles impériales d'arts et métiers.
Bulletins de la Société d'encouragement.
Bulletins de la Société des Ingénieurs civils de Londres, années 1847 à 1851.
Bulletins de l'institution *of Mechanical Engineers*.
Bulletins de la Société industrielle de Mulhouse.
Bulletins de la classe d'industrie et de commerce de la Société des arts de Genève.
Bulletins de la Société vaudoise.
Bulletins des Ingénieurs suédois.
Bulletins de la Société minérale de Saint-Etienne.
Bulletin des séances de la Société impériale et centrale d'agriculture.
Comptes rendus des séances du cercle de la Presse scientifique.
Gazette des Bâtiments, par M. Morel.
Journal des Ingénieurs et architectes anglais.
Journal l'Ingénieur.
Journal des Mines.
Journal le Crédit minier.
Journal l'Invention, par MM. Gardissal et Desnos.
Mémoires de la Société d'agriculture de l'Aube.
Moniteur des Travaux publics.
Portefeuille John Cockerill.
Portefeuille économique des Machines, par M. Oppermann.
Portefeuille de l'ingénieur des chemins de fer, par MM. Perdonnet et Polonceau.
Revue d'architecture, par M. César Daly.
Revue industrielle des mines et de la métallurgie.
Revue municipale.
Revue périodique de la Société des Ingénieurs autrichiens.
The Engineer (Journal).

STATISTIQUE ET LEGISLATION.

Administration de la France, ou Essai sur les abus de la centralisation, par M. Béchard.

Almanach et Annuaire des bâtiments (1842).

Brevets d'invention (Observations sur le nouveau projet de loi), par M. Normand.

Brevets d'invention, dessins et marques de fabrique (Etudes sur les lois actuelles), par M. Damourette.

Brevets d'invention en France et à l'étranger (Note sur les), par M. Emile Barrault.

Brevets d'invention et les marques de fabrique (Précis des législations françaises et étrangères sur les), par MM. Gardissal et Desnos.

Bulletin de statistique des chemins de fer (septembre 1852).

Colonies agricoles (Etudes sur les), mendiants, jeunes détenus, orphelins et enfants trouvés (Hollande, Suisse, Belgique et France), par MM. de Lurieu et Romand.

Complément des voies de communications dans le centre de la France, par M. Stéphane Mony.

Comptes rendus des opérations des chemins de fer de l'Etat belge pendant les années 1840, 1842 et 1844 à 1859.

Consultation sur le projet de la loi de police de roulage.

Crédit foncier et agricole dans les divers Etats de l'Europe, par M. Josseau.

Crédit foncier en Allemagne et en Belgique, par M. Royer.

Communications postales entre la France et l'Angleterre.

Caisse de retraite et de secours pour les ouvriers (chemins de fer belges).

Comptes rendus des travaux du Comité de l'Union des constructeurs.

Différence de consommation de la fonte blanche et de la fonte grise, par M. Henri Fournel.

Documents sur le commerce extérieur (douanes) (incomplets).

Documents statistiques sur les chemins de fer, par M. le comte Dubois.

Douanes. Tableau général des mouvements du cabotage en 1847, et du commerce de la France avec ses colonies et les puissances étrangères.

Essai sur la réforme de l'éducation et de l'instruction publique, par M. Gardissal.

Étude sur le Cadastre des Terres, sur les Hypothèques et l'Enregistrement des actes publics et sur la Péréquation de l'impôt Foncier. — Projet de loi sur un dépôt général de la foi publique, par MM. de Robernier, Ignace et Félix Porro.

Exposition de Londres de 1851. Compte rendu, par M. E. Lorentz.

Instructions pratiques à l'usage des Ingénieurs, par M. Armengaud aîné.

Mesures anglaises et mesures françaises, par M. G. Tronquoy.

Organisation de l'industrie. Projet de Société des papeteries en France, par MM. Ch. Callon et Laurens.

Organisation de l'Ecole polytechnique et pour les Ponts-et-Chaussées, par M. Vallée.
Organion de la propriété intellectuelle, par M. Jobard.
Observations sur l'organisation de l'administration des travaux publics, par la Société des Ingénieurs civils.
Observations sur le recrutement du corps des Ponts-et-Chaussées, par la Société des Ingénieurs civils.
Patent Office (Rapport 1854).
Procès-verbaux des conseils généraux de l'agriculture et du commerce.
Projet de loi sur la police du roulage, par M. Bineau.
Projet de loi sur les brevets.
Rachat des chemins de fer par l'Etat, par M. Poujard'hieu.
Rapport du jury central sur les produits de l'industrie française.
Rapport sur les patentes des Etats-Unis, par le major Poussin.
Rapport sur la loi organique de l'enseignement.
Statistique de la France, par M. le Ministre du commerce.
Statistique des chemins de fer de l'Allemagne, par M. Hauchecorne.
Statistique minéralogique et métallurgique, par M. Henri Fournel.
Tableaux sur les questions d'intérêts et d'assurances, par M. Eugène Péreire.
Tables logarithmiques pour le calcul de l'intérêt composé des annuités et des amortissements, par M. Eugène Péreire.
Tarif du canal du Rhône au Rhin, par M. Petiet.
Transports et correspondances entre la France et l'Angleterre, par M. Petiet.

TABLE DES MATIÈRES

1967. — Typ. GUIRAUDET, 2, place de la Mairie, à Neuilly.

ppem

2 · n du fer et de l'acier par le procédé Bessemer

. 1.

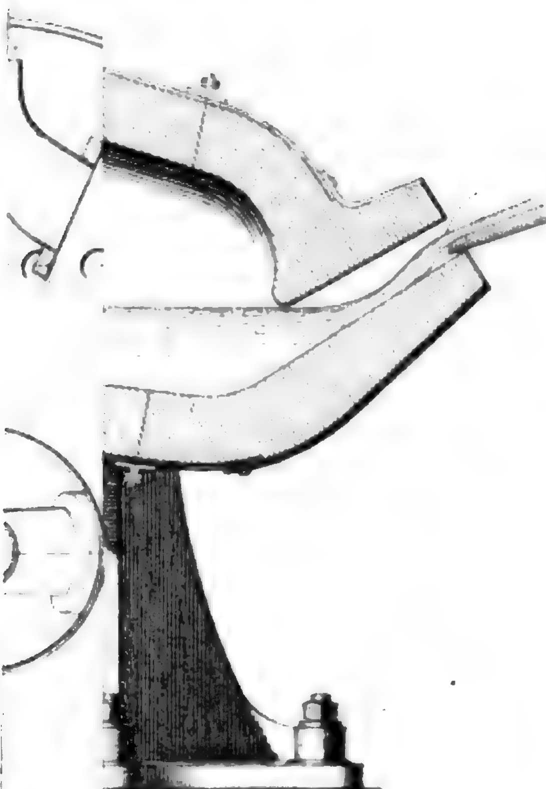
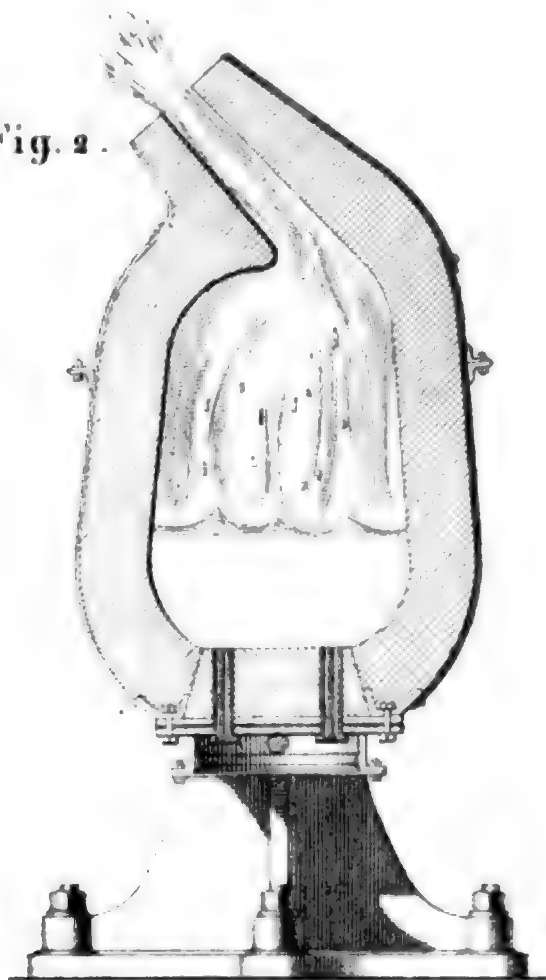
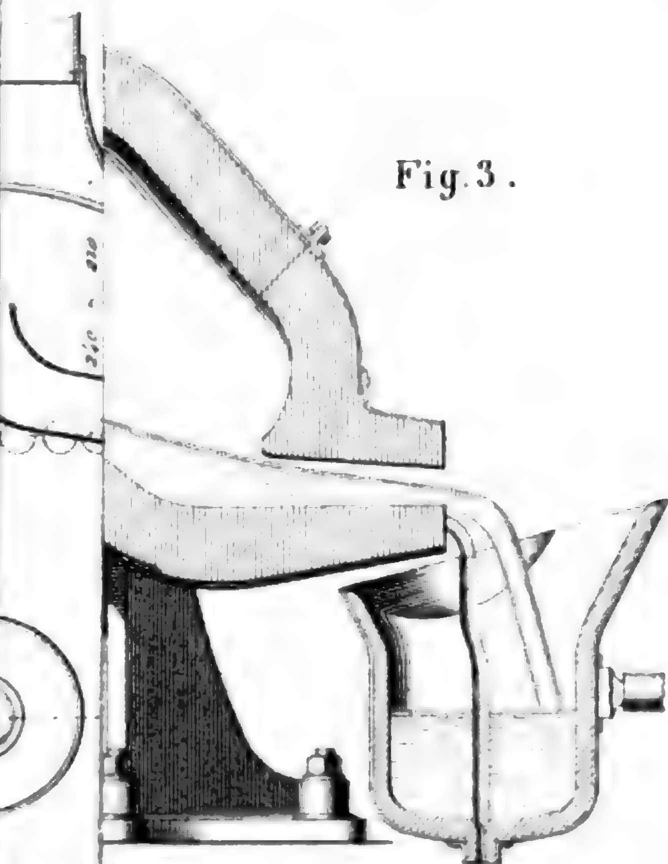


Fig. 2.



6.

Fig. 3.



Etabl.t et imprimerie de E. Noblet, Editeur.

ppem

2 · n du fer et de l'acier par le procédé Bessemer

. 1.

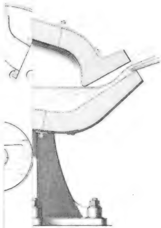
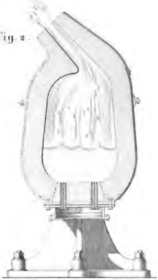
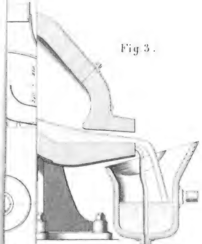


Fig. 2.



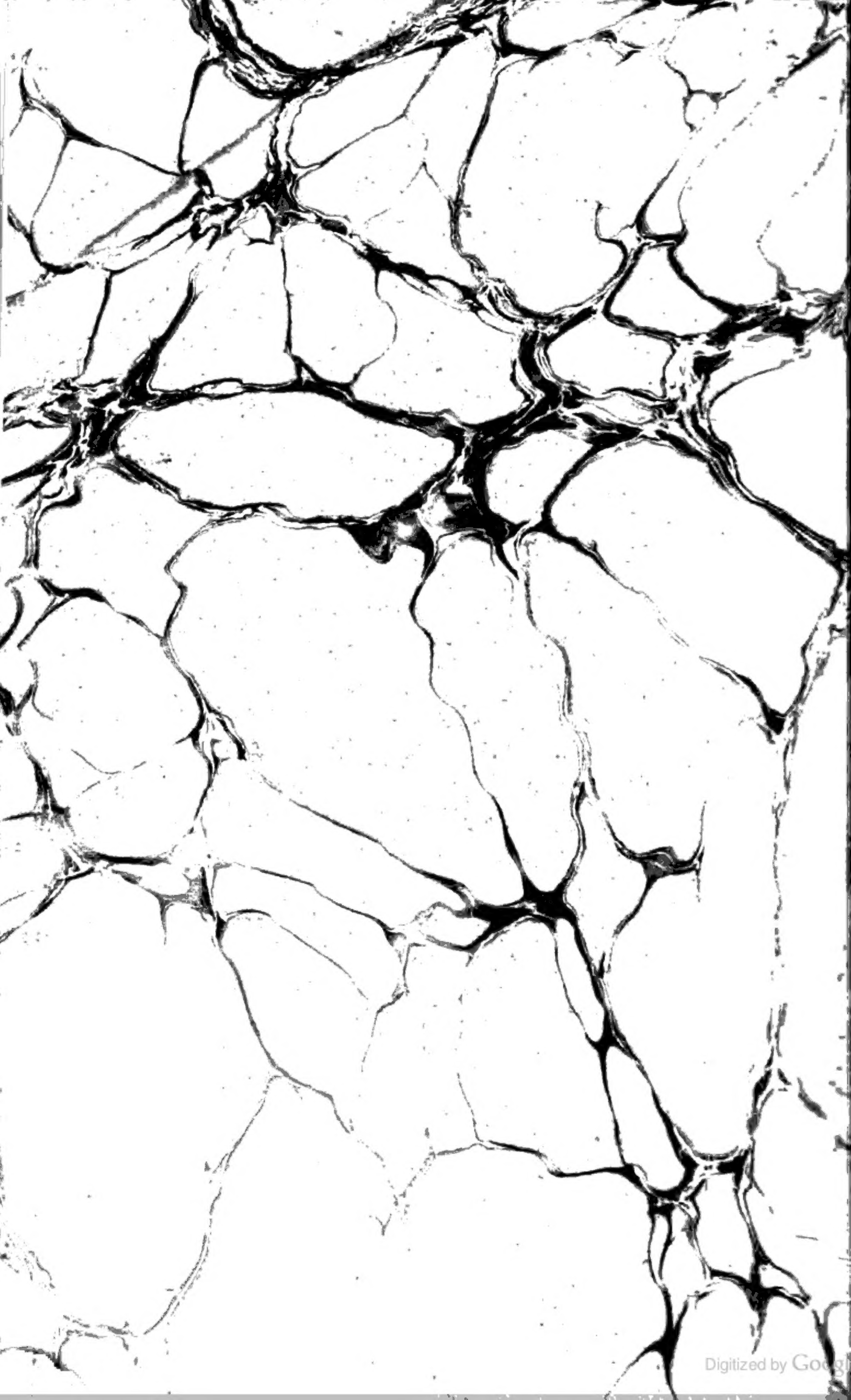
6.

Fig. 3.



Établ^t et imprimerie de E. Noblet, Éditeur.

Digitized by Google



UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 06711 1560

Digitized by Google